

GENERAL

UN SEGLE D'AVENTURES PER L'ESPAI-TEMPS

José M M Senovilla
UPV/EHU

Una teoria centenària

Tal dia com avui (4-11-1915, dijous), fa 100 anys, A. Einstein presentava a la acadèmia prussiana de ciències les primeres equacions del camp gravitatori.

Eren errònies!

El mateix va fer el dijous següent dia 11...

També errònies!

Una teoria centenària

844 Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 25. November 1915

Die Feldgleichungen der Gravitation.

VON A. EINSTEIN.

In zwei vor kurzem erschienenen Mitteilungen¹ habe ich gezeigt, wie man zu Feldgleichungen der Gravitation gelangen kann, die dem Postulat allgemeiner Relativität entsprechen, d. h. die in ihrer allgemeinen Fassung beliebigen Substitutionen der Raumzeitvariablen gegenüber kovariant sind.

Der Entwicklungsgang war dabei folgender. Zunächst fand ich Gleichungen, welche die NEWTONSCHE Theorie als Näherung enthalten und beliebigen Substitutionen von der Determinante 1 gegenüber kovariant waren. Hierauf fand ich, daß diesen Gleichungen allgemein kovariante entsprechen, falls der Skalar des Energietensors der «Materie» verschwindet. Das Koordinatensystem war dann nach der einfachen Regel zu spezialisieren, daß $\sqrt{-g}$ zu 1 gemacht wird, wodurch die Gleichungen der Theorie eine eminente Vereinfachung erfahren. Dabei mußte aber, wie erwähnt, die Hypothese eingeführt werden, daß der Skalar des Energietensors der Materie verschwinde.

Neuerdings finde ich nun, daß man ohne Hypothese über den Energietensor der Materie auskommen kann, wenn man den Energietensor der Materie in etwas anderer Weise in die Feldgleichungen

Què és?

La més gran fita del pensament humà al voltant de la natura

(Max Born)

Probablement, la més gran descoberta científica de tots els temps

(Paul A M Dirac)

Discutible (i poc informatiu)...

Què és?

Una teoria física de la gravetat i de l'espai-temps

La millor que se ha sabut construir (fins avui)

“Només” això, però tot això ...

La gravetat és universal

Afecta a totes les coses de la mateixa manera.

Sempre és atractiva

Tot està a alguna zona de l'espai,
i tot succeeix en un interval de temps

La descripció del món requereix d'una
tal teoria!



481-19

La Gravetat

Pel que fa a la gravetat, va ser el primer en notar els seus dos grans principis:

El Principi de Relativitat, i el Principi d'Equivalència

Aquests seran, de fet, els dos principis sobre els que s'assentarà la teoria d'Einstein.



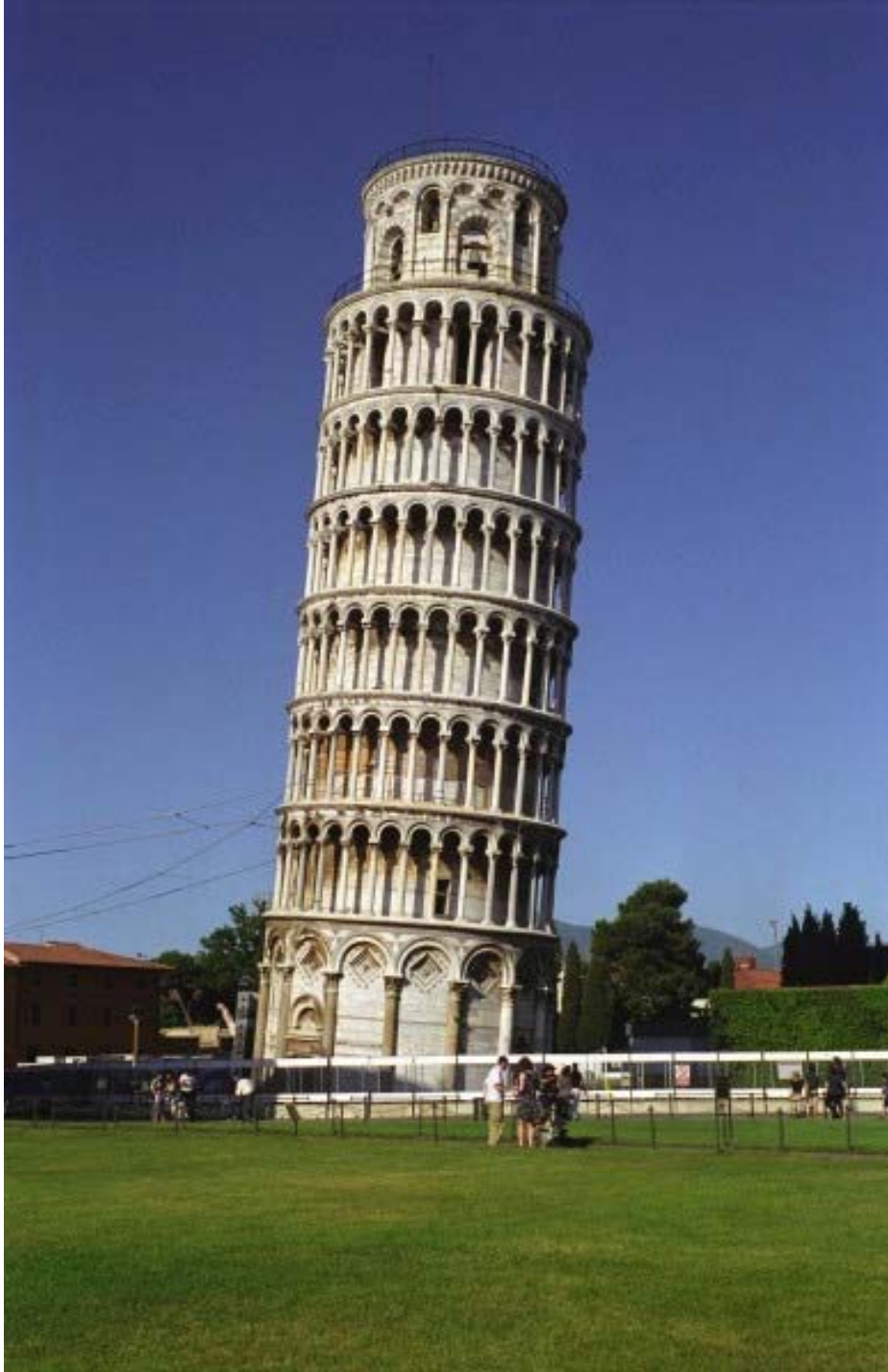
A vibrant, abstract image of a cosmic nebula or galaxy, featuring swirling patterns of blue, purple, and magenta light against a dark background. The colors are bright and ethereal, creating a sense of depth and movement.

El principi de Relativitat



El principi d'Equivalència

Observacions



Experiments amb boles de ferro de molt diferent grossària (a la torre de Pisa(?)), també amb boles de plom i de suro, unes molt més pesades que les altres, fent servir pèndols.

(Discorsi et Dimostrazioni..., 1638)

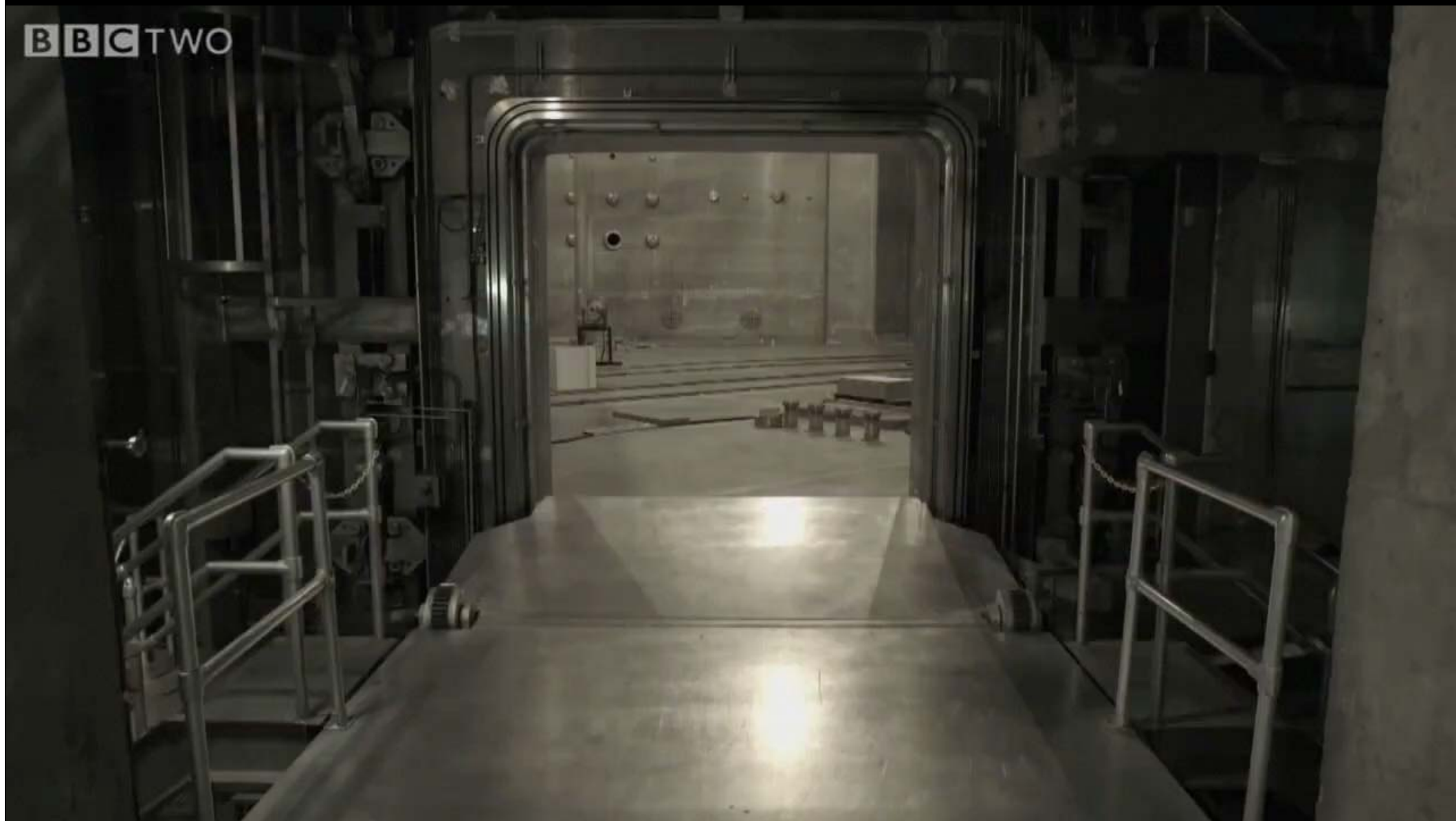
BBC TWO



Una imatge > 1000 paraules



BBC TWO



Principi d'equivalència feble

$$m_i = m_g$$

Història



- Huygens (1673) va millorar els experiments fent servir pèndols fins a tènyer a una precisió de $\sim 10^{-3}$ (0,001)



- Bessel (1832) va repetir els experiments amb pèndols fins arribar a una precisió de $\sim 2 \times 10^{-5}$ (0,00002)

Història: Experiments moderns

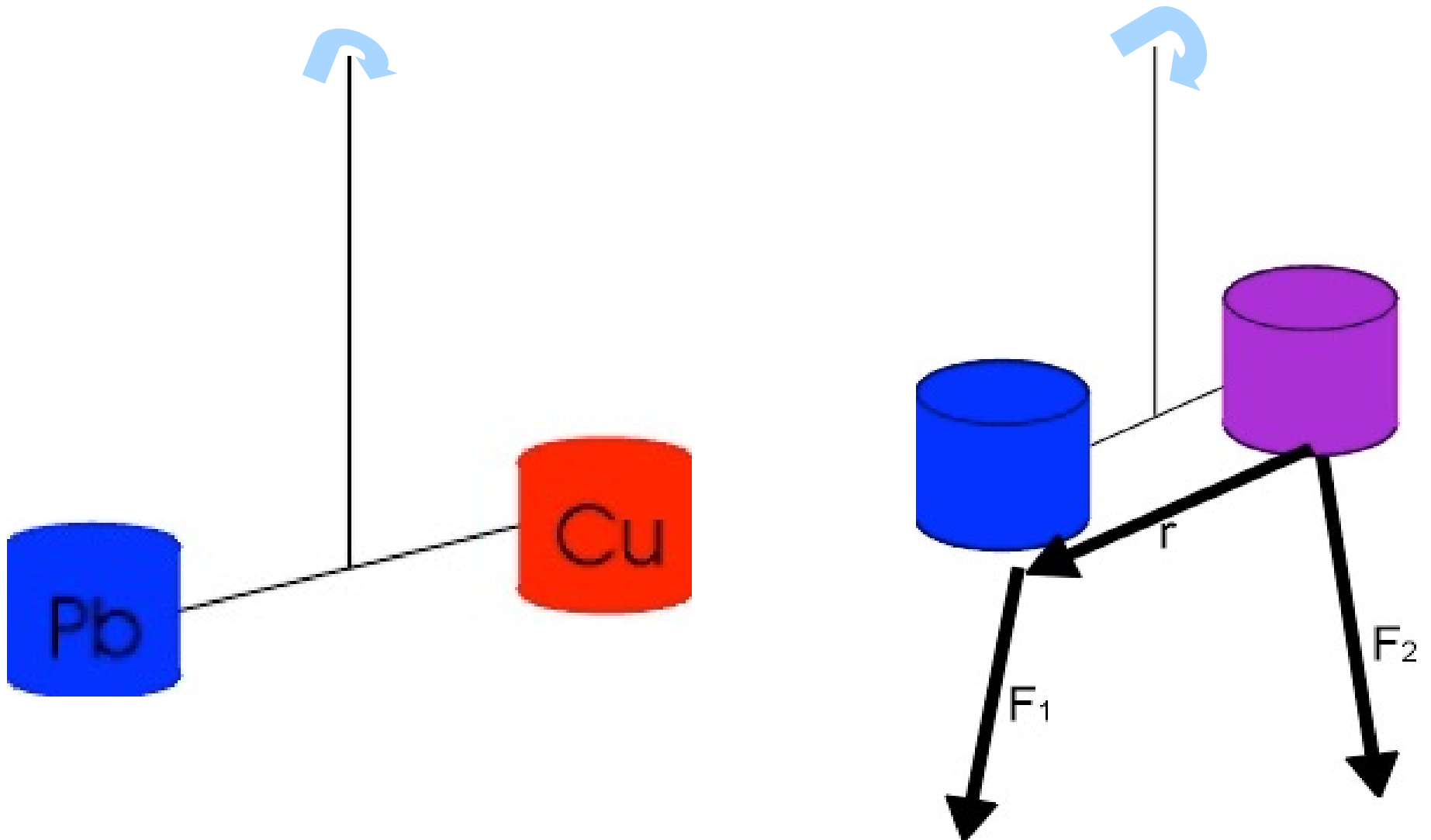


1848-1919

Eötvös (al periode
1885-1922) va utilitzar
una balança de torsió
confirmant el PE
amb una precisió de
 $\sim 5 \times 10^{-9}$



Balança de torsió



La balança de torsió de l'experiment Eöt-Wash III



H. Hertz quant al PE feble

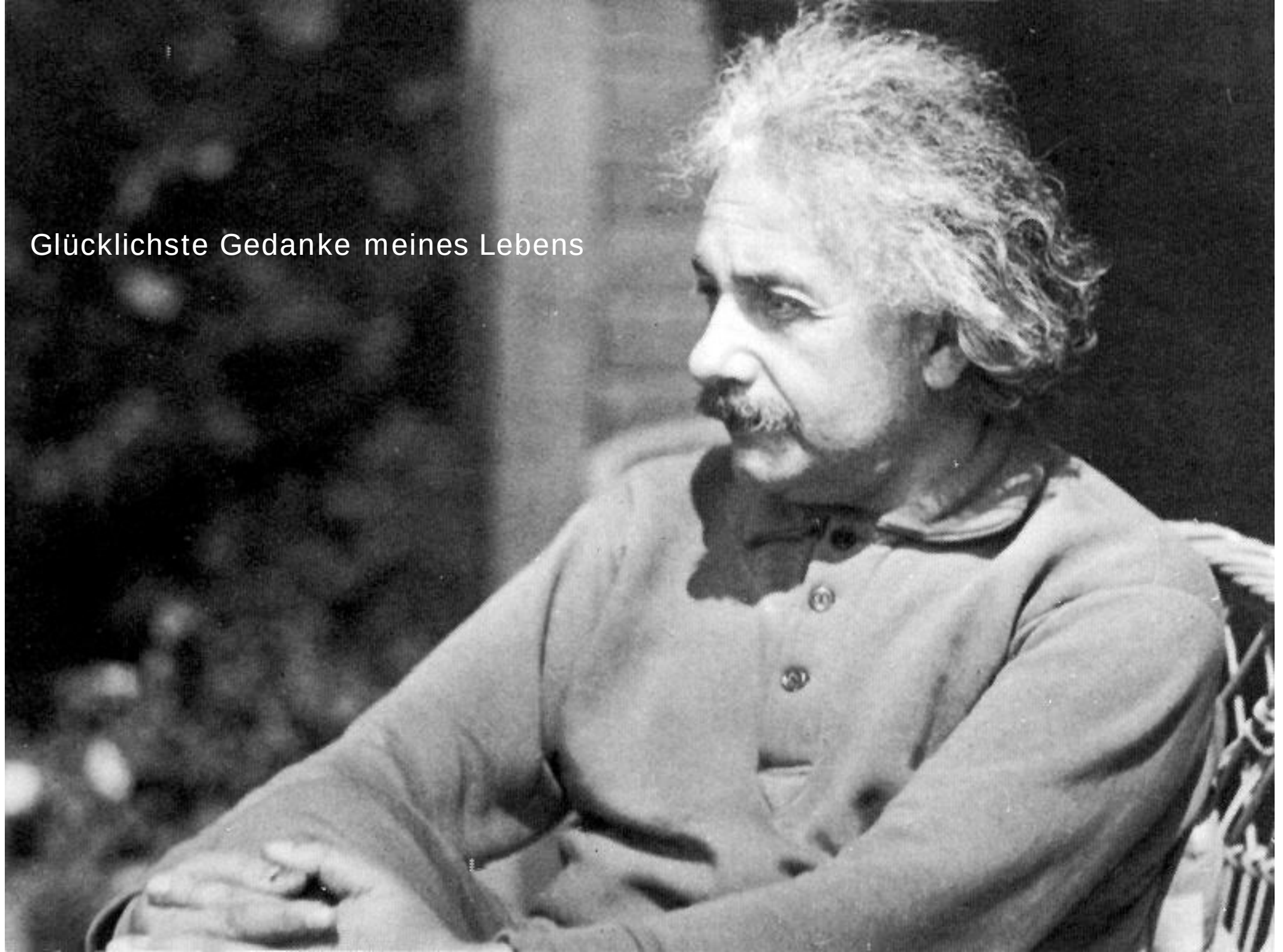


En realidad tenemos dos propiedades fundamentales de la materia ante nosotros que hay que considerar completamente independientes entre sí, pero en nuestra experiencia, y sólo ahí, se nos muestran como exactamente iguales. Esta correspondencia debe **significar algo más que un simple milagro** (...) Tenemos que percatarnos de que esta correspondencia entre masa e inercia ***debe tener una explicación más profunda***, y no puede considerarse de importancia menor

...

(Über die Constitution der Materie

Glücklichste Gedanke meines Lebens





Glücklichst
e Gedanke
meines
Lebens

Pero, ¿qué
me dices,
Albert?



La llista de revolucions científiques impulsades per l'Einstein és

inversemblant

Fins al 1905

- * Fonaments de les teories cinètica i estadística
- * Explicació del moviment brownià de partícules en líquids
- * Efecte fotoelèctric i teoria quàntica de la radiació electromagnètica
- * Relativitat especial i electrodinàmica clàssica....

1906-1916

- * Principi d'equivalència i teoria de la relativitat general

1917

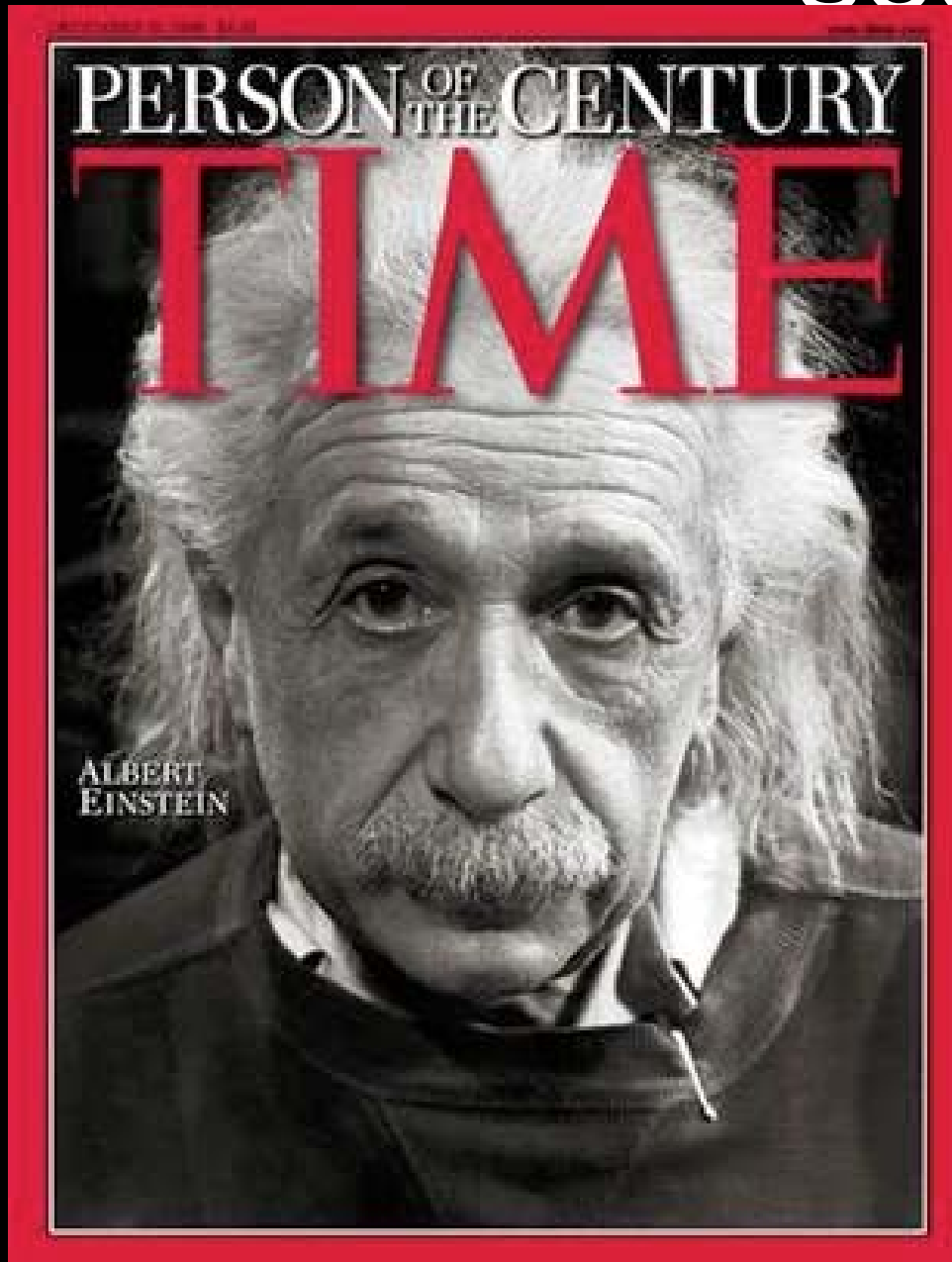
LÀSER and MÀSER, Cosmologia

1924

Estadística quàntica
Condesació de Bose-Einstein

• • • • •

Albert Einstein, la persona del segle



El personatge que més
contribuí als grans i
profunds canvis
occorreguts al món
durant el segle XX

Time Magazine :
decembre 1999

Inspiració



La vella Mecànica *registrarà* certament aquest important principi [PE feble], però no el *va interpretar*. Una explicació satisfactòria només es pot aconseguir acceptant que la *mateixa* qualitat d'un cos es manifesta, depenent de les circumstàncies, bé com a inèrcia, bé com a pes.

PE d'EINSTEIN

Els camps gravitatoris i els sistemes de referència accelerats són localment indistingibles

Per tant, un sistema accelerat és equivalent a un sistema inercial amb un camp gravitatori adient.

Les forces centrífugues i de Coriolis són com camps gravitatoris

PE d'EINSTEIN (DUALIDAD)

Els camps gravitatoris i
els sistemes de referència accelerats
són localment indistingibles

Per consegüent, tot camp gravitatori pot
eliminar-se localment!

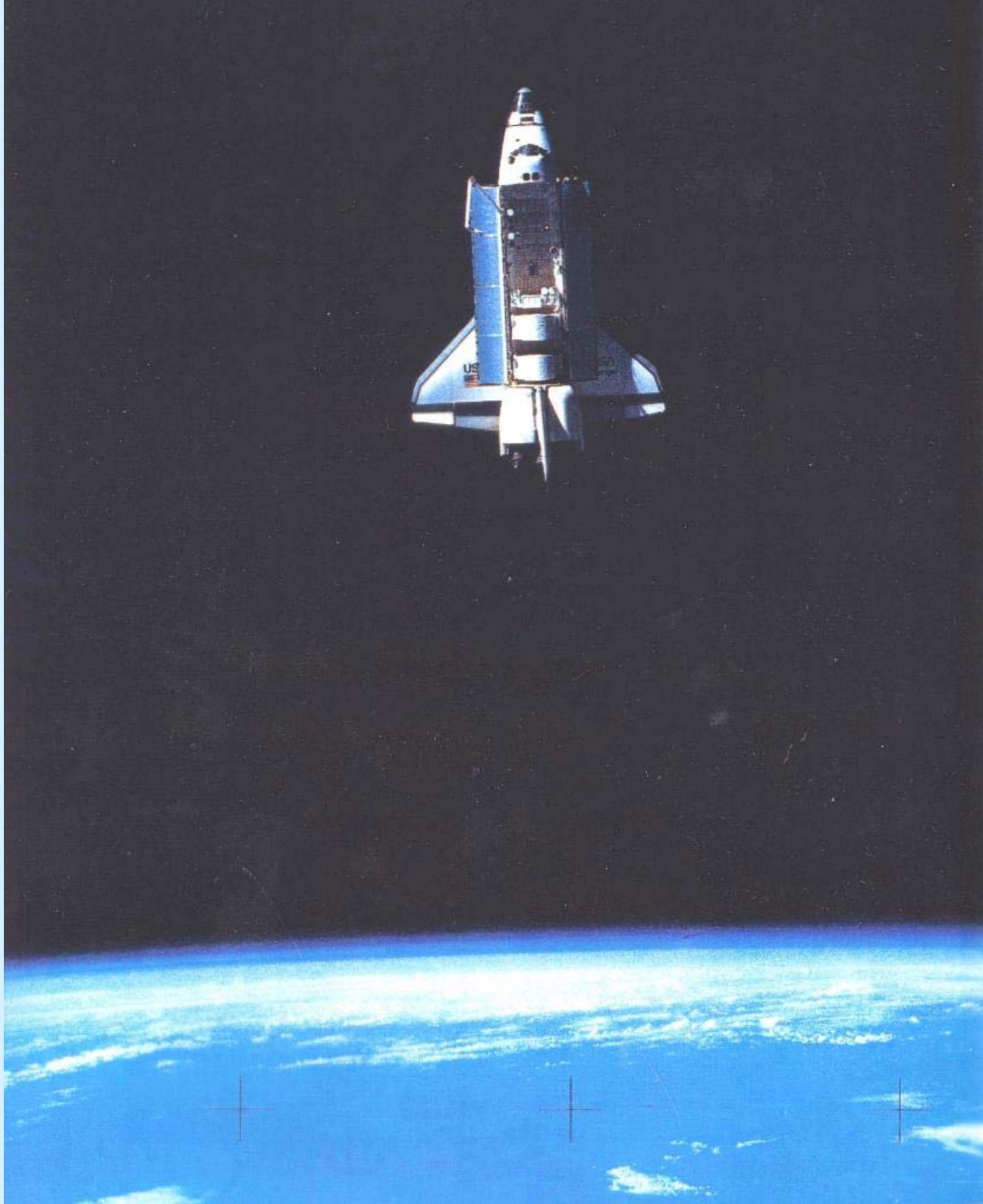


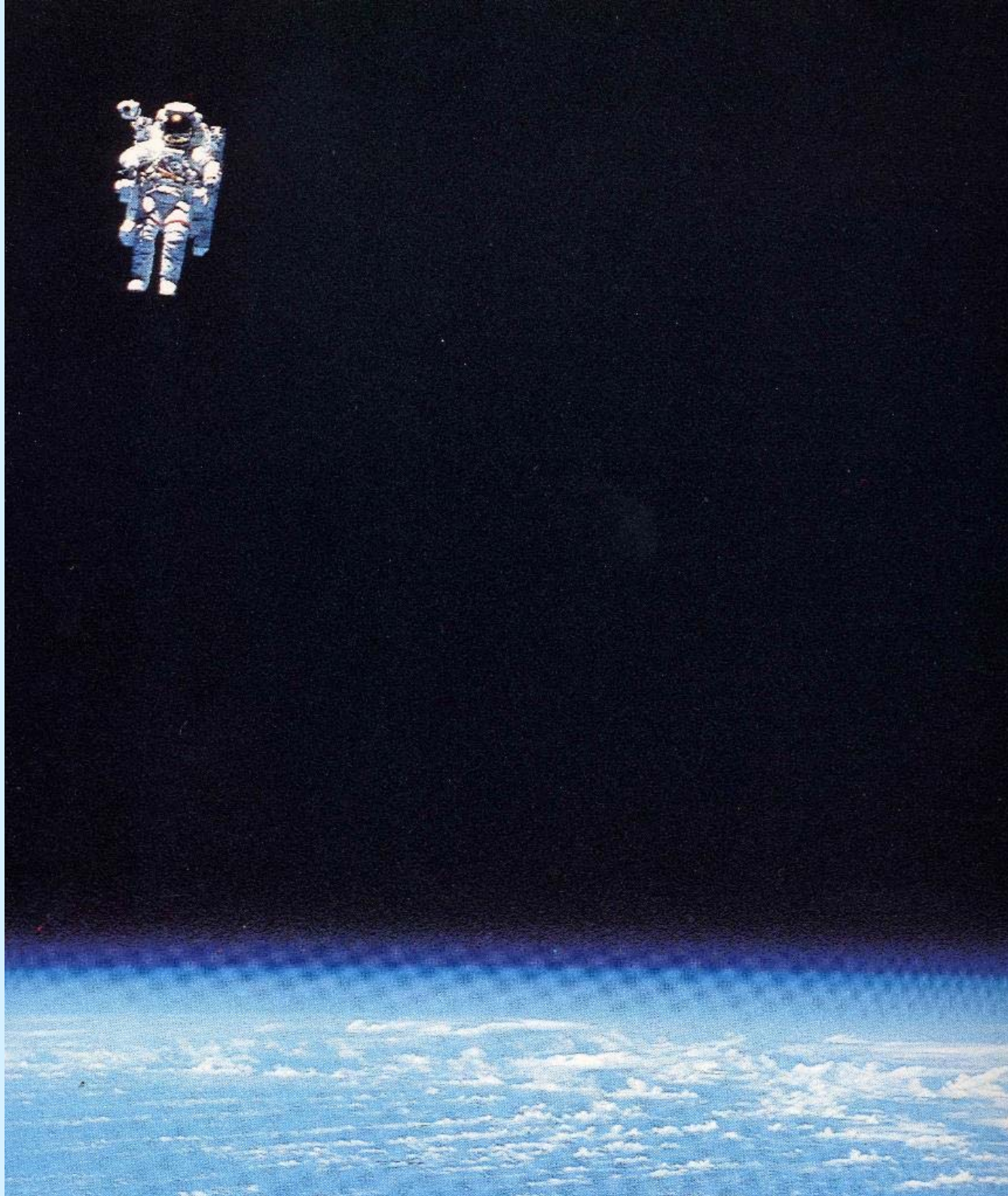
El camp gravitatori
només té una
existència **relativa**
(...) *Perquè, per a un
observador en
caiguda lliure (...) no
hi ha camp gravitatori
---al menys al seu
entorn immediat---*.

Einstein a Barcelona



1923





NASA

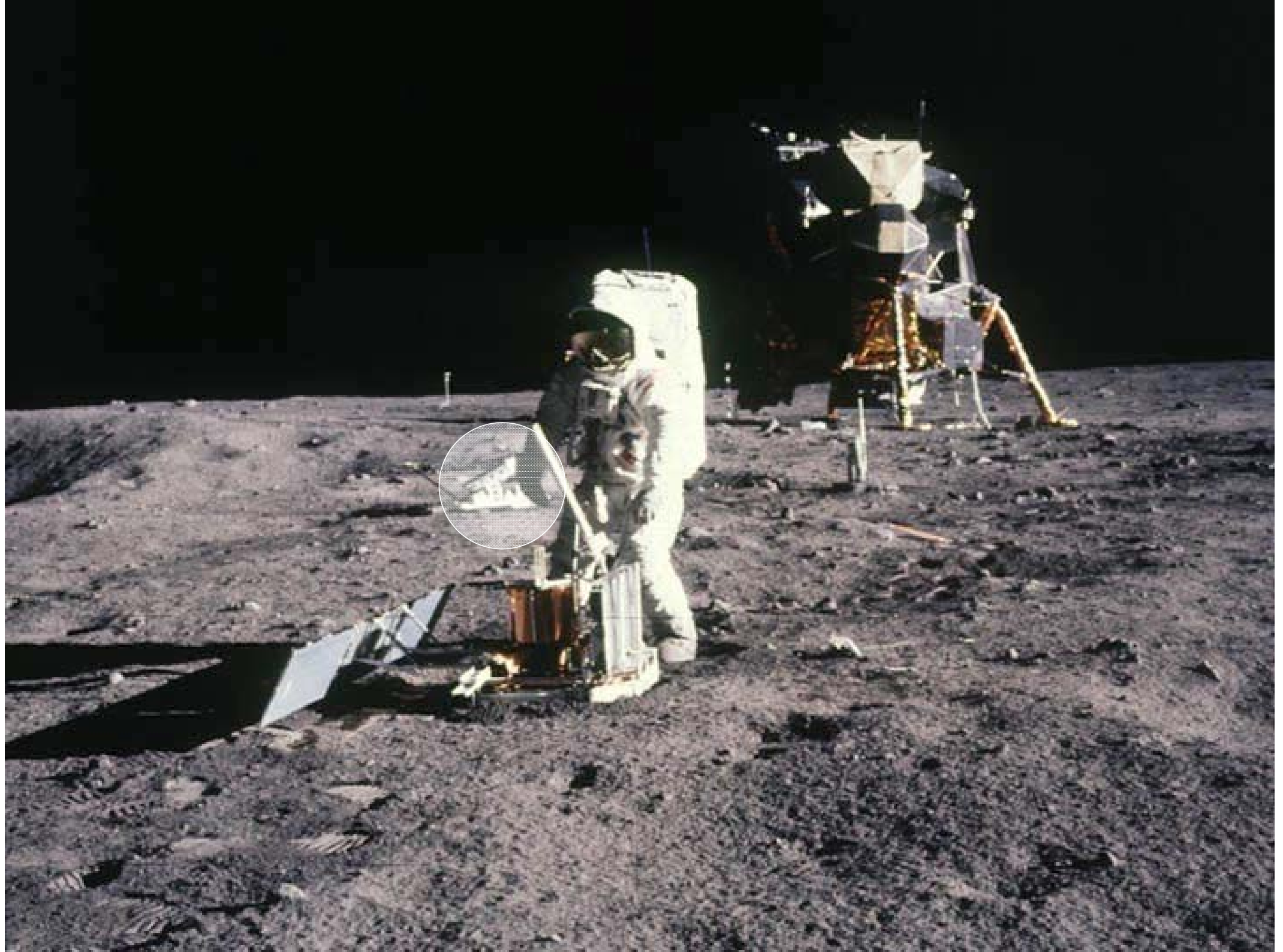
 National Aeronautics and
Space Administration

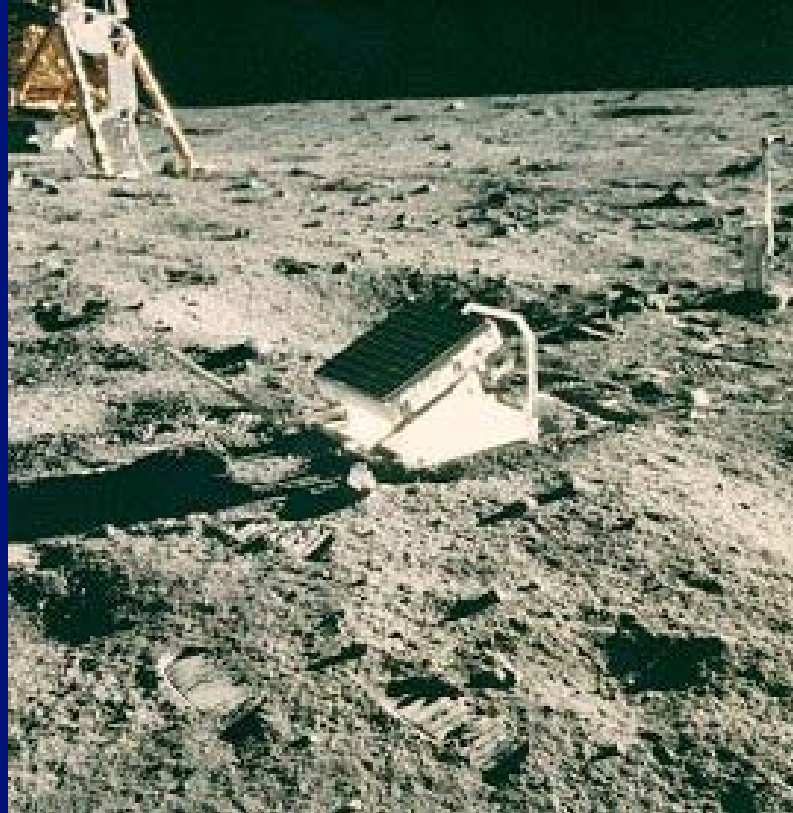
MILLOR EXPERIMENT DEL PED

Las mesures de retro-reflector làser lunar:

$$5 \times 10^{-12}$$

(és a dir, 0,0000000000005)





MILLOR EXPERIMENT DEL PED

Las mesures de retro-reflector làser lunar:

$$5 \times 10^{-12}$$

(és a dir, 0,0000000000005)

Els experiments Eöt-Wash:

$$2 \times 10^{-13}$$

(és a dir, 0,00000000000002)



Prediccions del PE

Prediccions del PE

☒ La gravetat afecta el temps

Els experiments de Pound-Rebka-Snider



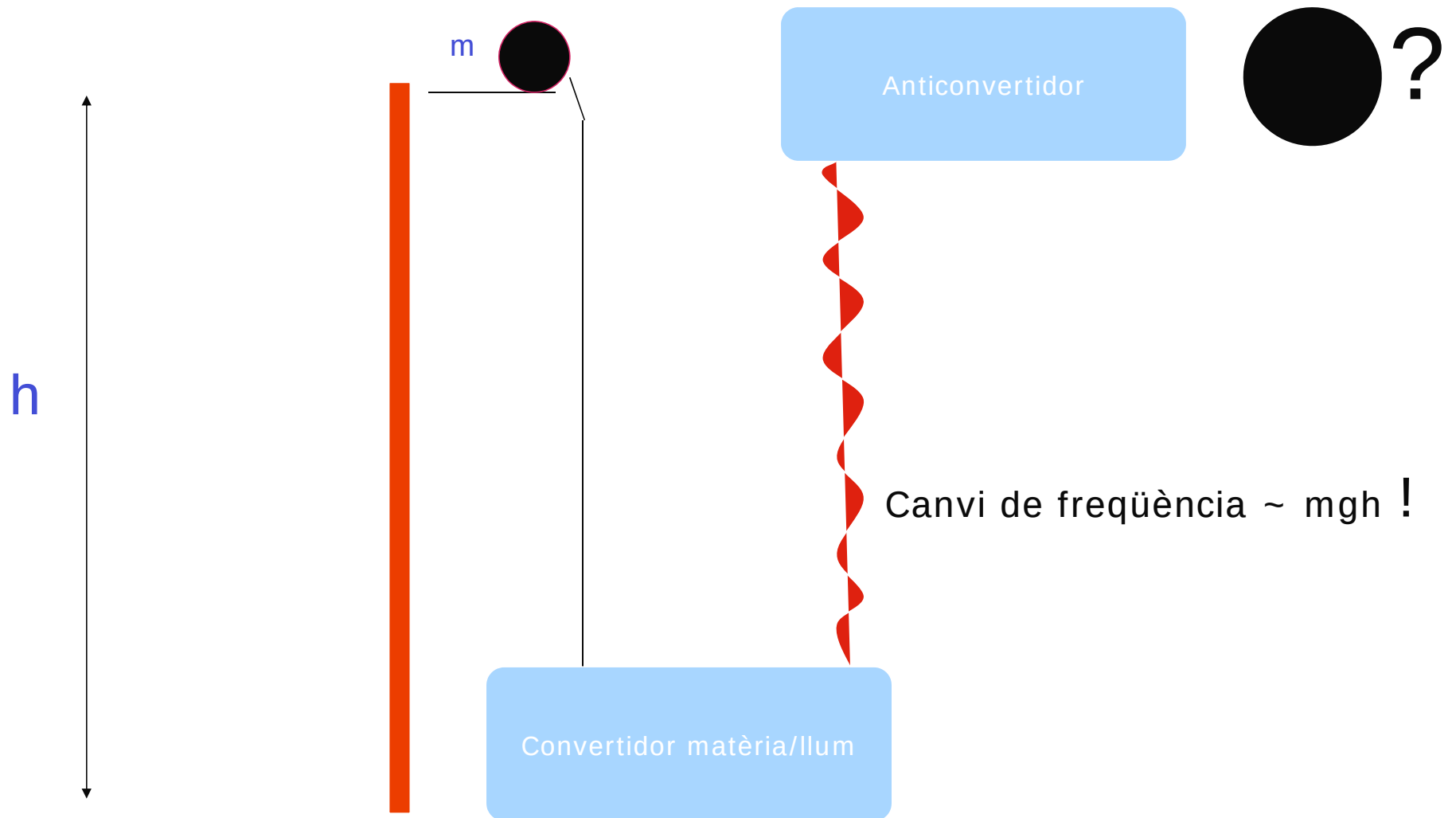
RECORDEM L'EFFECTE DOPPLER

Efecte
Doppler



Les ones electromagnètiques (llum, ràdio...)
també pateixen aquest efecte de canvi de
freqüència

Els experiments de Pound-Rebka-Snider (1959, 1965)



Gravity Probe A (18 Junio 1976)



- La “sonda de gravedad A” (Gravity Probe A, GP-A) consistió en el lanzamiento de un reloj atómico de MÁSER de alta precisión a bordo de un cohete sub-orbital (scout-D1, a la izqda.) para explorar las propiedades del tiempo de acuerdo con el PE. Se confirmó el cambio de frecuencia predicho por el PE con una precisión de 2×10^{-4} . GP-A estuvo en el espacio sólo durante una hora y 55 minutos, en un trayectoria de vuelo elíptica sobre el océano Atlántico. Aún así, alcanzó una altitud de unos 9975 Km sobre el nivel del mar antes de estrellarse en el océano.

LA RELATIVIDAD Y EL GPS



GPS

Tiempo célere, tiempo lento

El sistema de localización global GPS requiere correcciones relativistas. Por una parte, a causa de la velocidad de los satélites GPS, los relojes que éstos llevan a bordo se retrasan unos siete microsegundos diarios con respecto a los terrestres. Por otra, al ser menor la atracción gravitatoria que experimentan los satélites, se suma otro efecto relativista que adelanta los relojes 45 microsegundos al día. Para que el GPS proporcione datos precisos, pues, debe aplicarse un factor de corrección que retrase los relojes en órbita 38 microsegundos cada día. En los receptores GPS dotados del sistema de afinación del GPS para grandes áreas (WAAS), los errores relativistas se cancelan, porque estos equipos se valen de señales adicionales, procedentes de estaciones de referencia instaladas en tierra, en ubicaciones conocidas.

Prediccions del PE

- ☒ La gravetat afecta el temps
- ☒ Geometrització de la gravetat:
l'espai no és pla, “**es corba**”

Les regles disposades
radialment des del
centre, no!

Les regles disposades
tangencialment a la vora
pateixen una “contracció de
Lorentz”

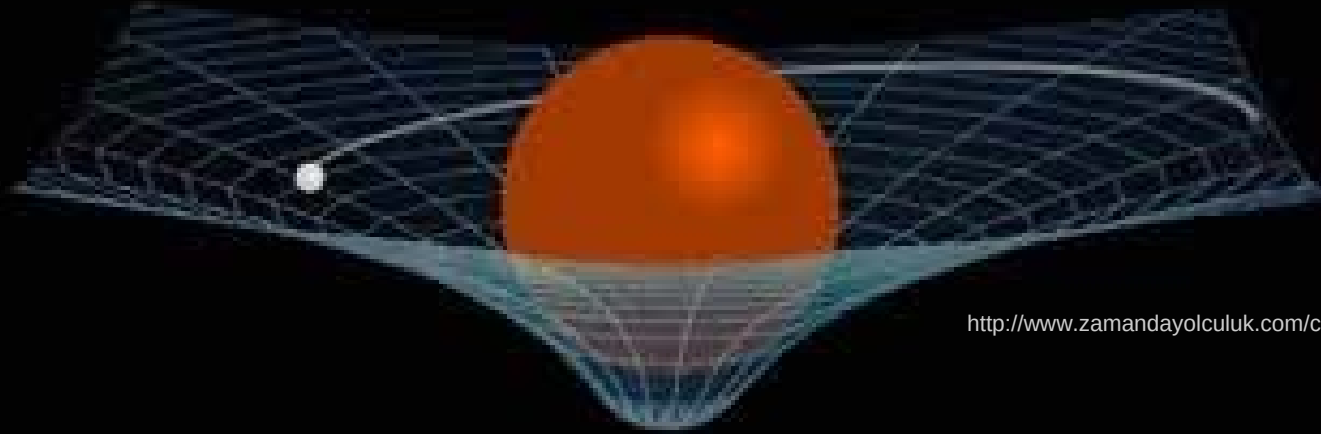
No val la fórmula de la
longitut de la
circumferència...

La geometria
no és plana!



Tíovivo

Curvatura de l'espai!



<http://www.zamandayolculuk.com/cetinbal/html/dosya1/RelativityFile.htm>

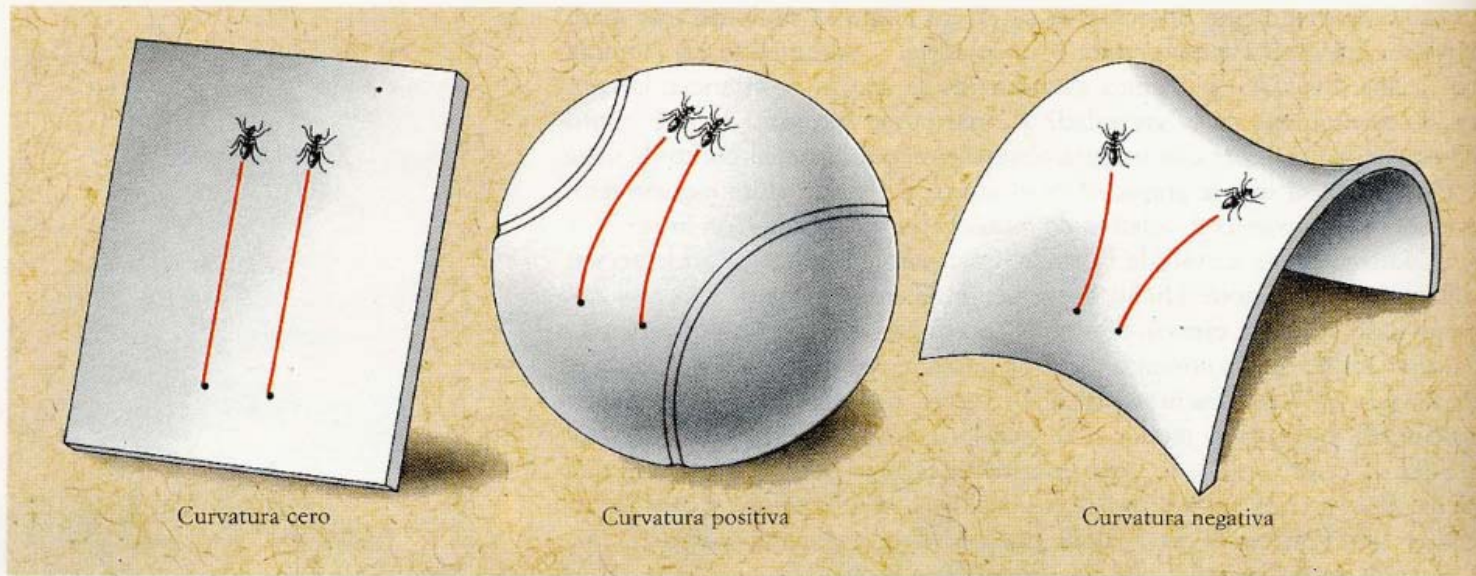
A l'estació espacial internacional es viu en estat d'ingravedesa **local**, sí.

Però també és cert que cada hora i mitja torna al mateix punt de l'espai.

Això és un efecte **no local** degut a la curvatura que la Terra produeix al seu voltant.

La Terra mateixa nota la curvatura produïda pel Sol (i la Lluna) en les **marees**, o en la repetició de las estacions.

Curvatura

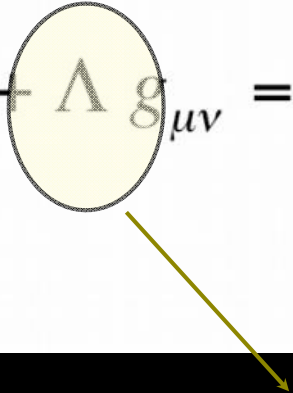


Dos líneas inicialmente «paralelas» se mantienen siempre a la misma distancia en una superficie sin curvatura, convergen en una superficie con curvatura positiva y divergen en una superficie con curvatura negativa.

Curvatura, entesos..., però
quina curvatura?

Quina curvatura?

La determinada per les equacions de camp d'Einstein

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$


“Constante cosmològica” (1917)

Curvatura i forma = distribució de matèria i energia

Relativitat General

La teoria que descriu la gravitació segons les equacions anteriors es denomina Relativitat General

Existeixen moltes teories que incorporen el P.E. i
ahora contenen la gravetat newtoniana

Només la Relativitat General ha
superat totes les proves
experimentals amb honors

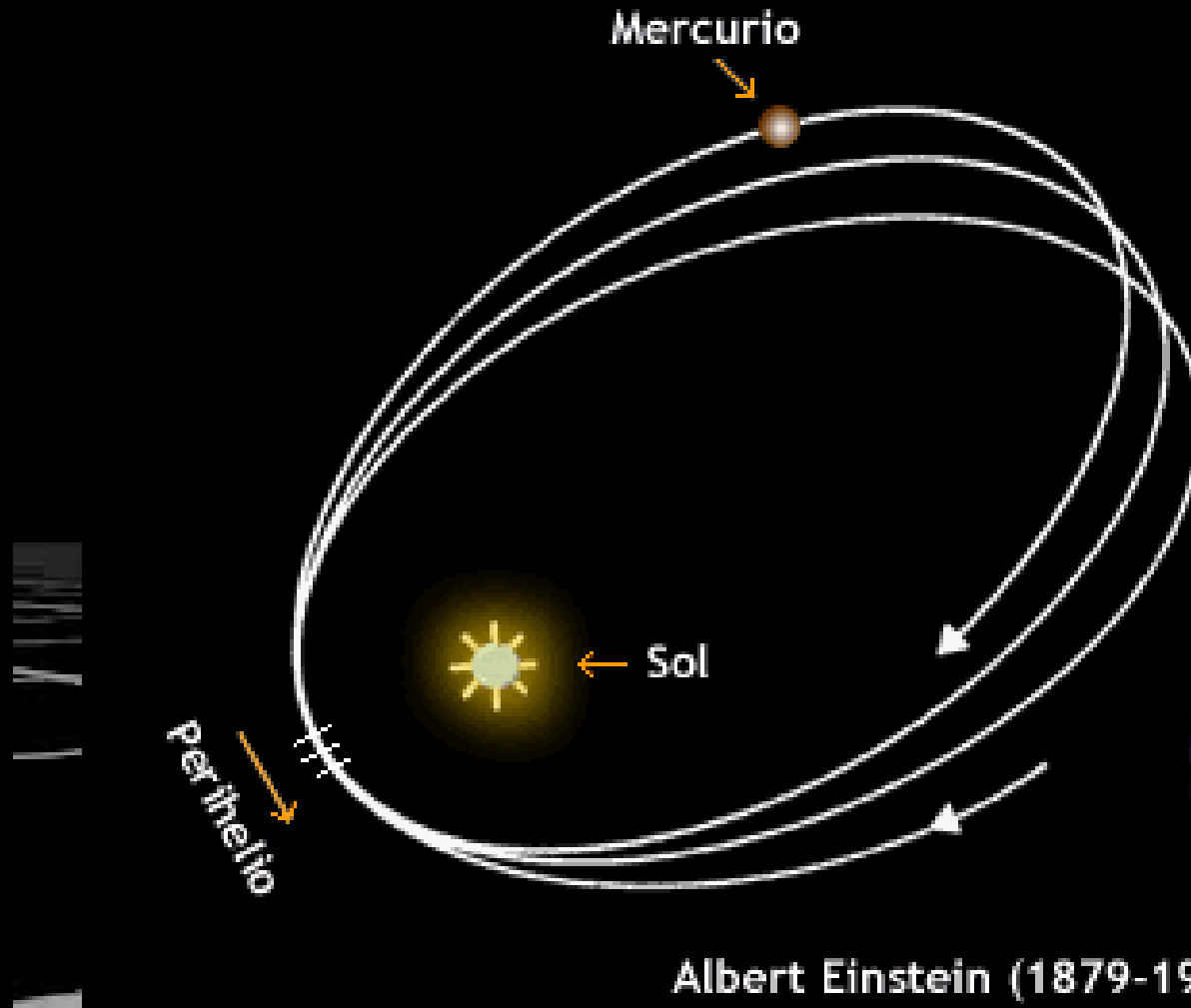


El periheli!



El periheli de Mercuri canviava, amb un excedent inexplicable d'uns **0,0119° per segle**

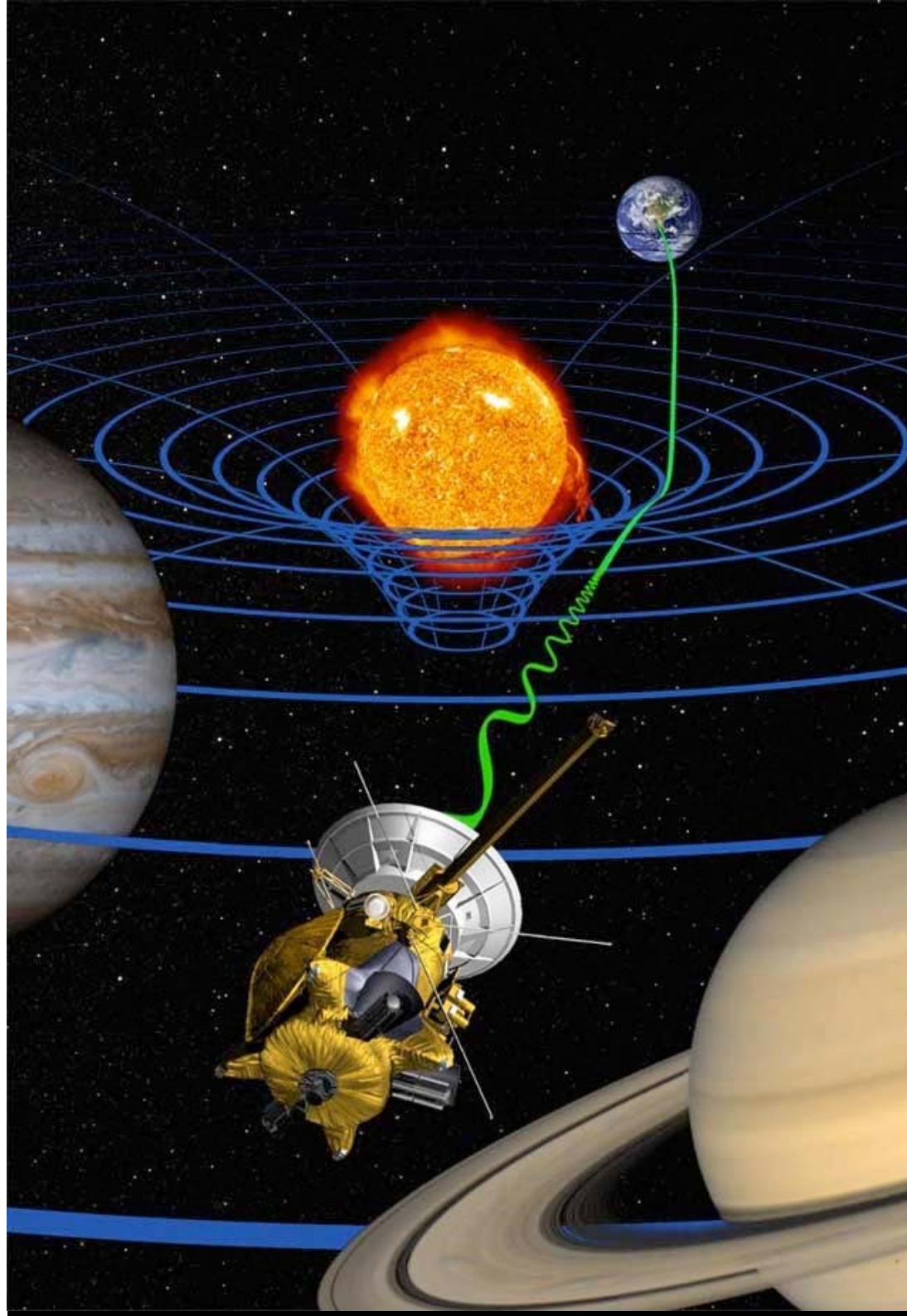
Esquema del moviment de precessió del periheli de Mercurio



Albert Einstein (1879-1955)

Avanç del periheli de Mercuri

**Els misteriosos $0,0119^\circ/\text{segle}$
“de més” queden perfectament
explicats amb el moviment
dels planetes predit per la
teoria de la Relativitat General**



Experiment amb la Sonda Cassini

És una prova experimental que combina els dos efectes anteriors.

Es mesura el temps de viatge d'ones de radio passant vora el Sol.

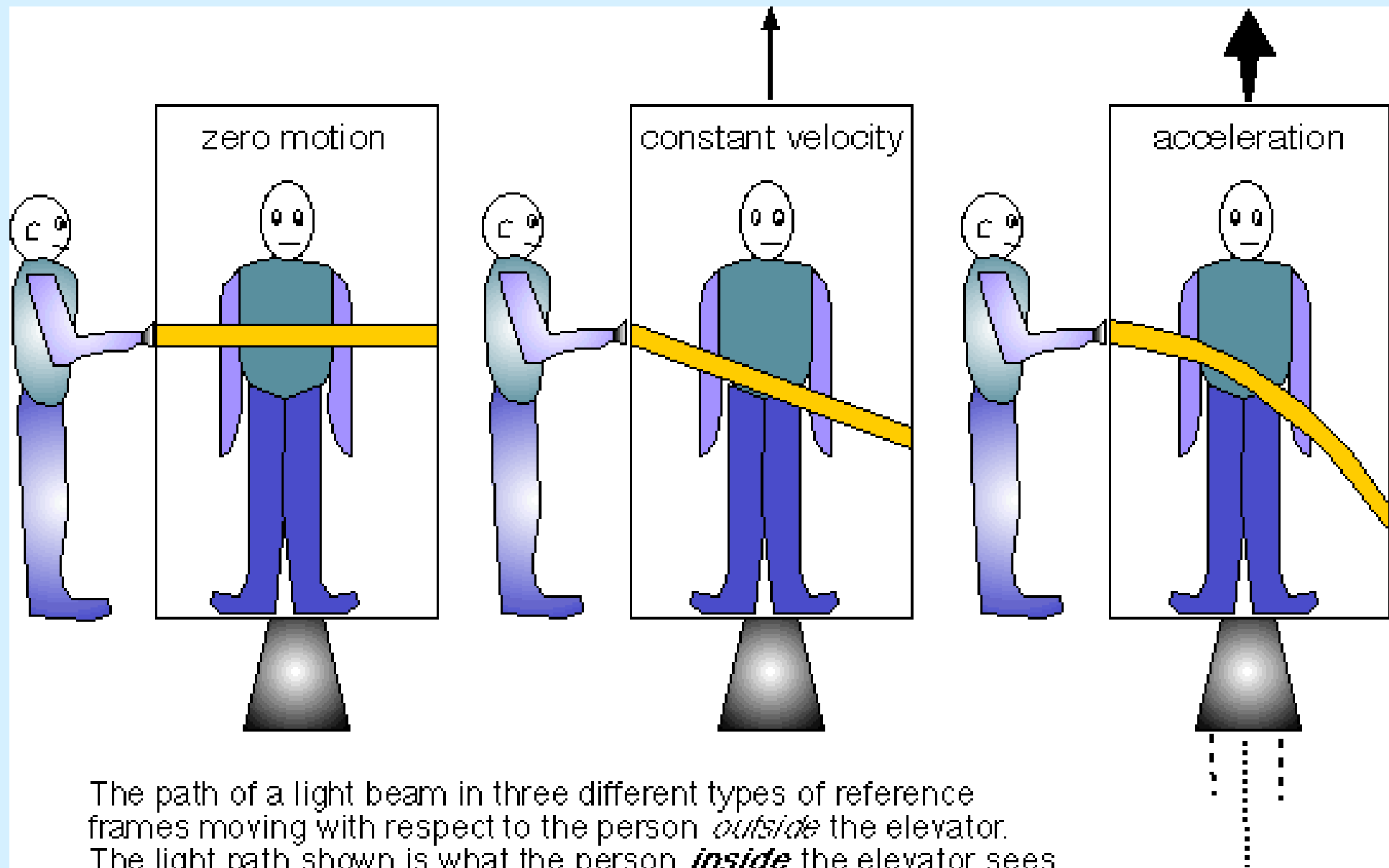
Degut a la curvatura de l'espai(-temps) al voltant del Sol, el temps d'arribada es "retarda"

La Relativitat General prediu, i concorda amb, els valors mesurats amb una precisió exquisida (10^{-5})

Prediccions del PE + la Relativitat General

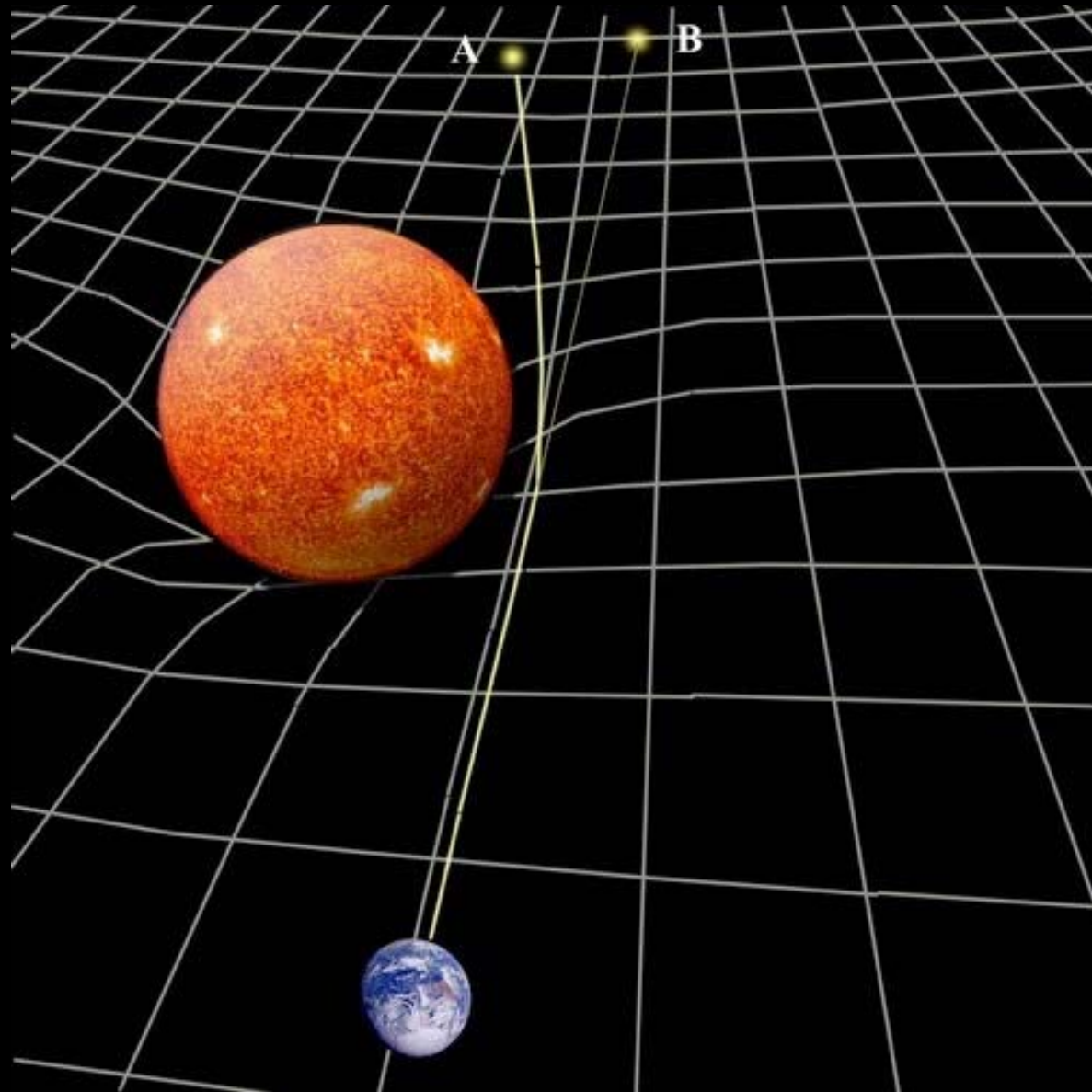
- ☒ La gravetat afecta el temps
- ☒ Geometrització de la gravetat
 - ☒ Desviació de la llum

Fent servir el PE



The path of a light beam in three different types of reference frames moving with respect to the person *outside* the elevator. The light path shown is what the person *inside* the elevator sees. Under large acceleration, the beam of light will curve downward. It should also do that in a region of strong gravity.

Desviació de la llum per una gran massa



Com mesurar-ho?

L'efecte es molt petit: per a un estel llunyà situat a la fotosfera del Sol, d'uns $0,00049^\circ$

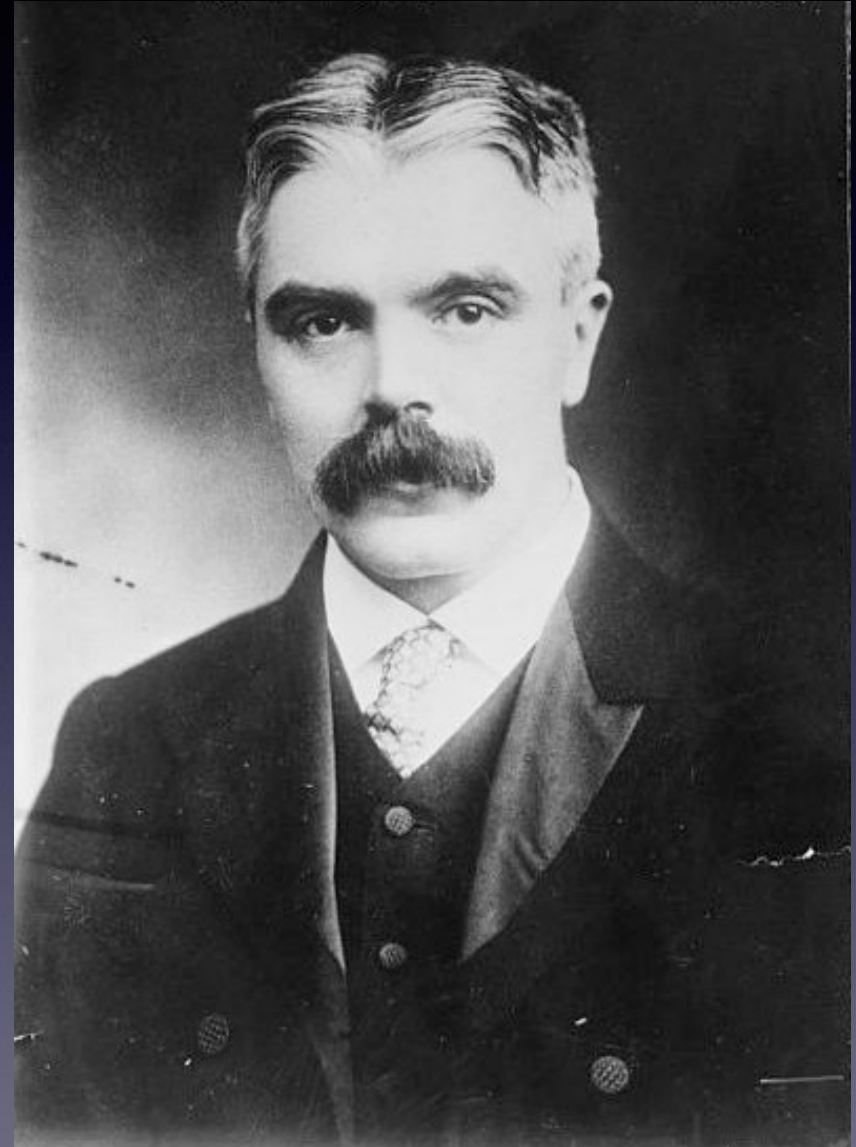
Potser, en un eclipsi!



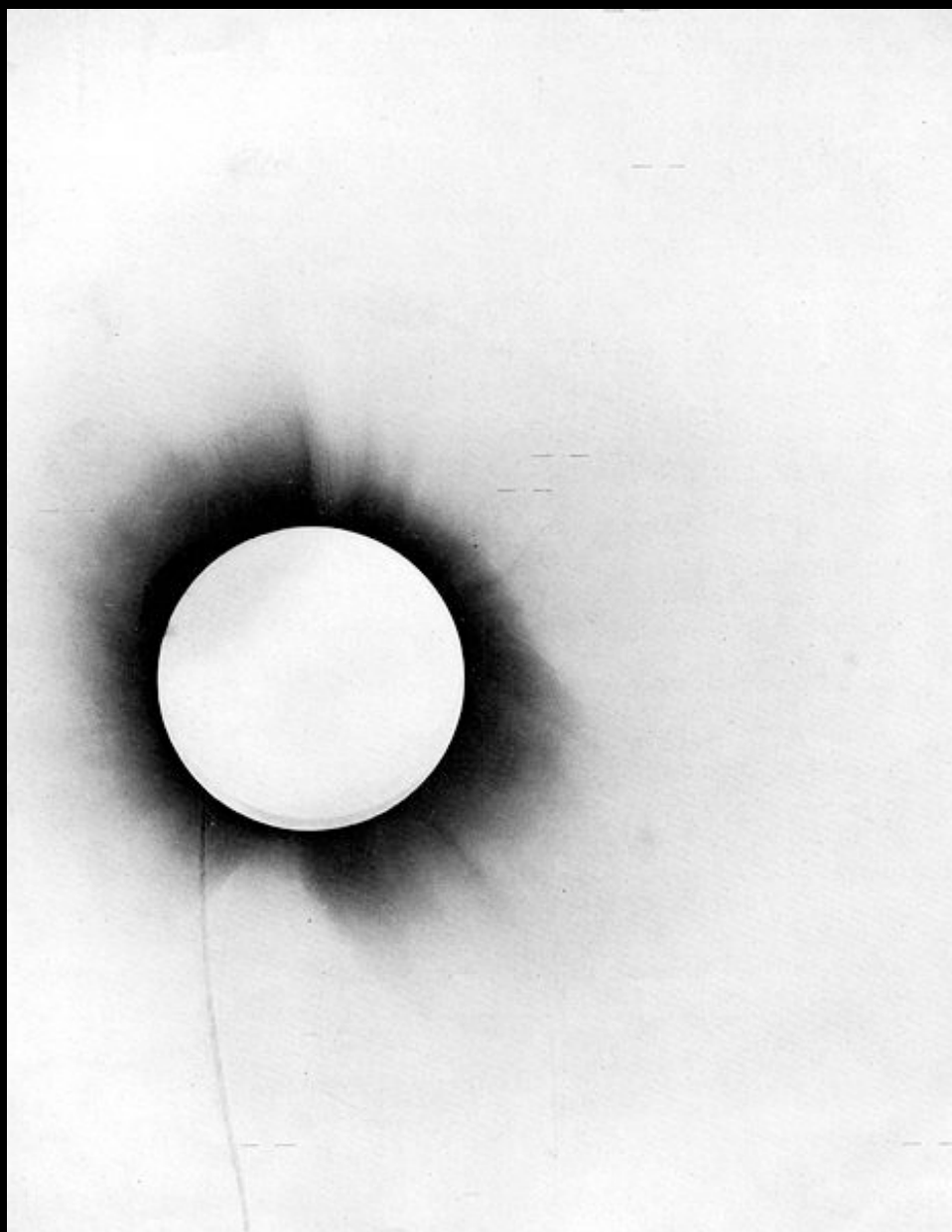
Eclipsi total de Sol del 29 de maig de 1919

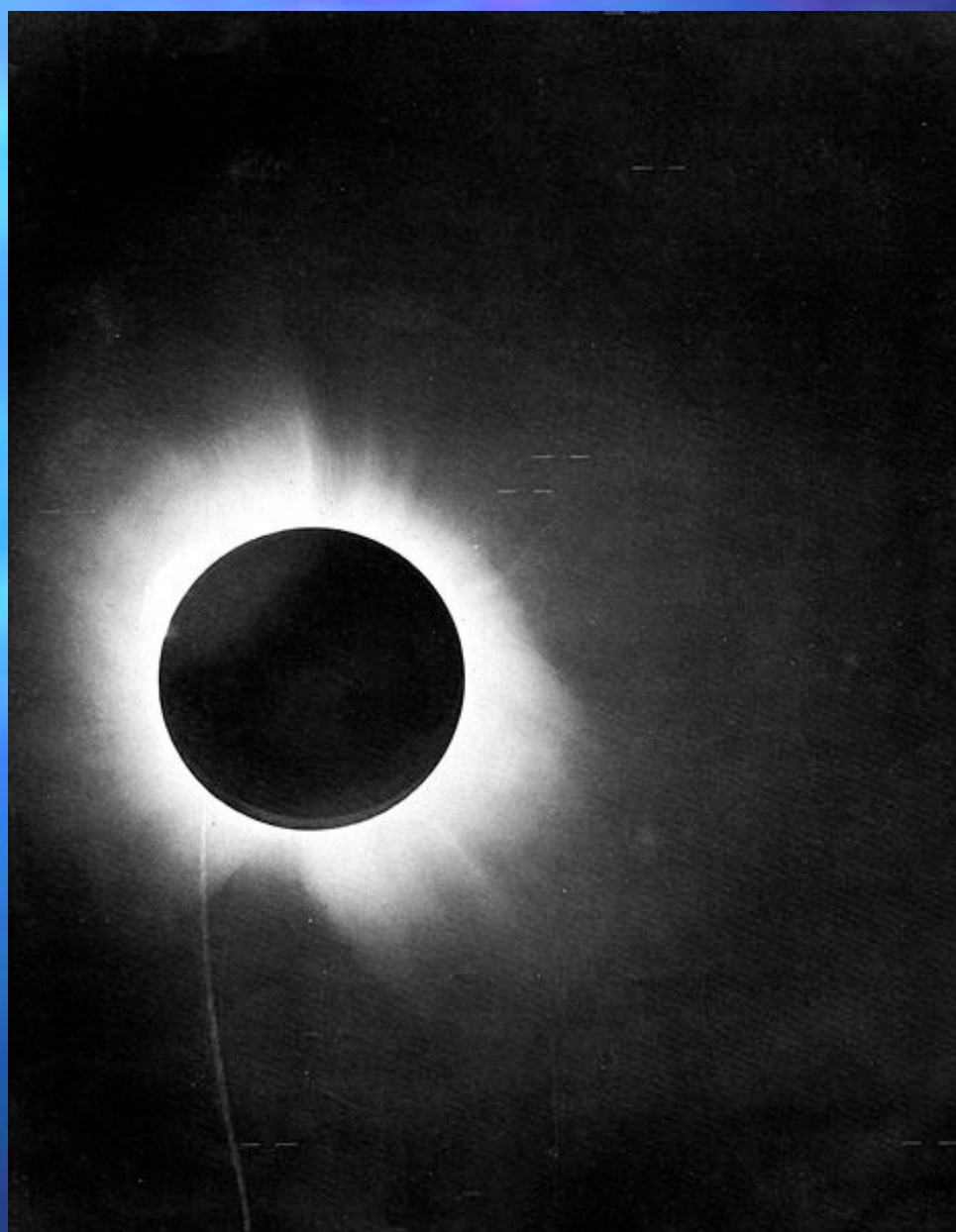


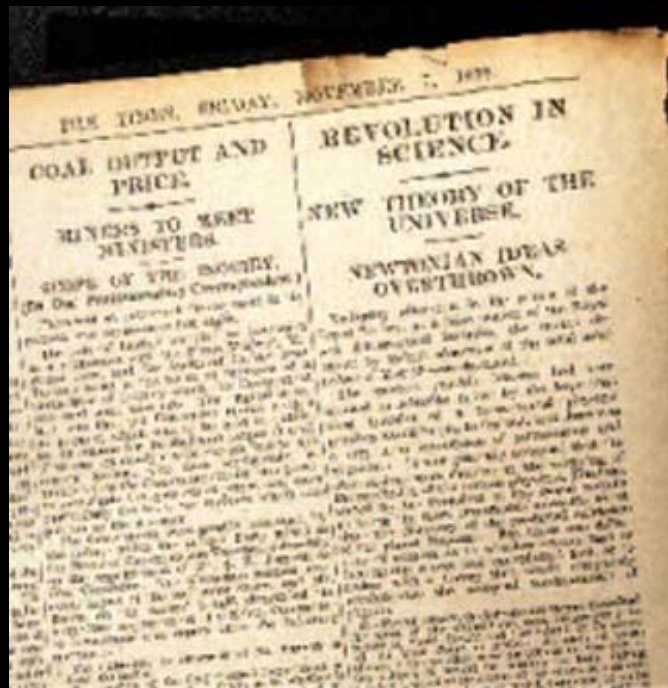
Sir Arthur Stanley Eddington (1882–1944)



Sir Frank Watson Dyson, 1868-1939







Times, 7-11-1919

LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

**Men of Science More or Less
Agog Over Results of Eclipse
Observations.**

EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

**Stars Not Where They Seemed
or Were Calculated to be,
but Nobody Need Worry.**

NY Times, 10-11-1919

Un telegrama per a Einstein (1922)



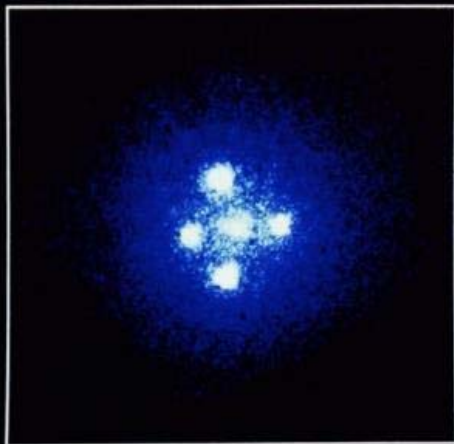
“three pairs australia tahiti eclipse plates measured

Campb.

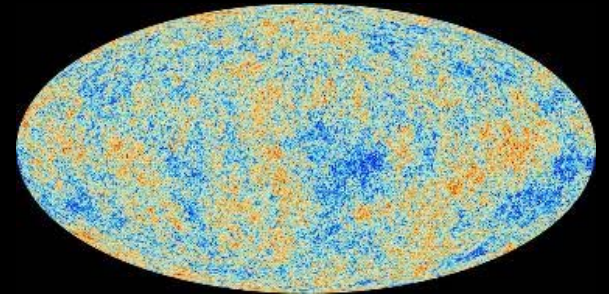
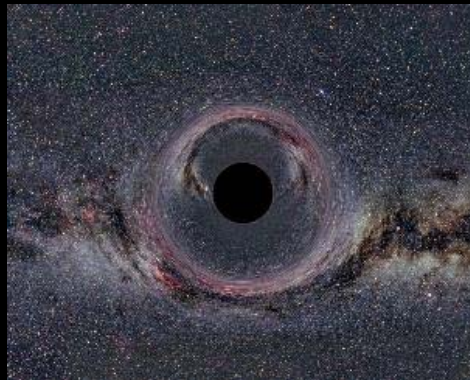
trumpier sixty two to eighty four stars each five or six
measurements completely calculated give **einstein**
deflection

between one point fifty nine and one point eighty six
seconds

Altres prediccions, i altres èxits, de la Relativitat General



Gravitational Lens G2237+0305



Lents gravitatòries!

Einstein es va adonar que els objectes astronòmics podien desviar la llum igualment de forma que, sota condicions apropiades, s'observarien imatges múltiples d'una única font. Aquest efecte es diu lent gravitatòria o també, miratge gravitatori.

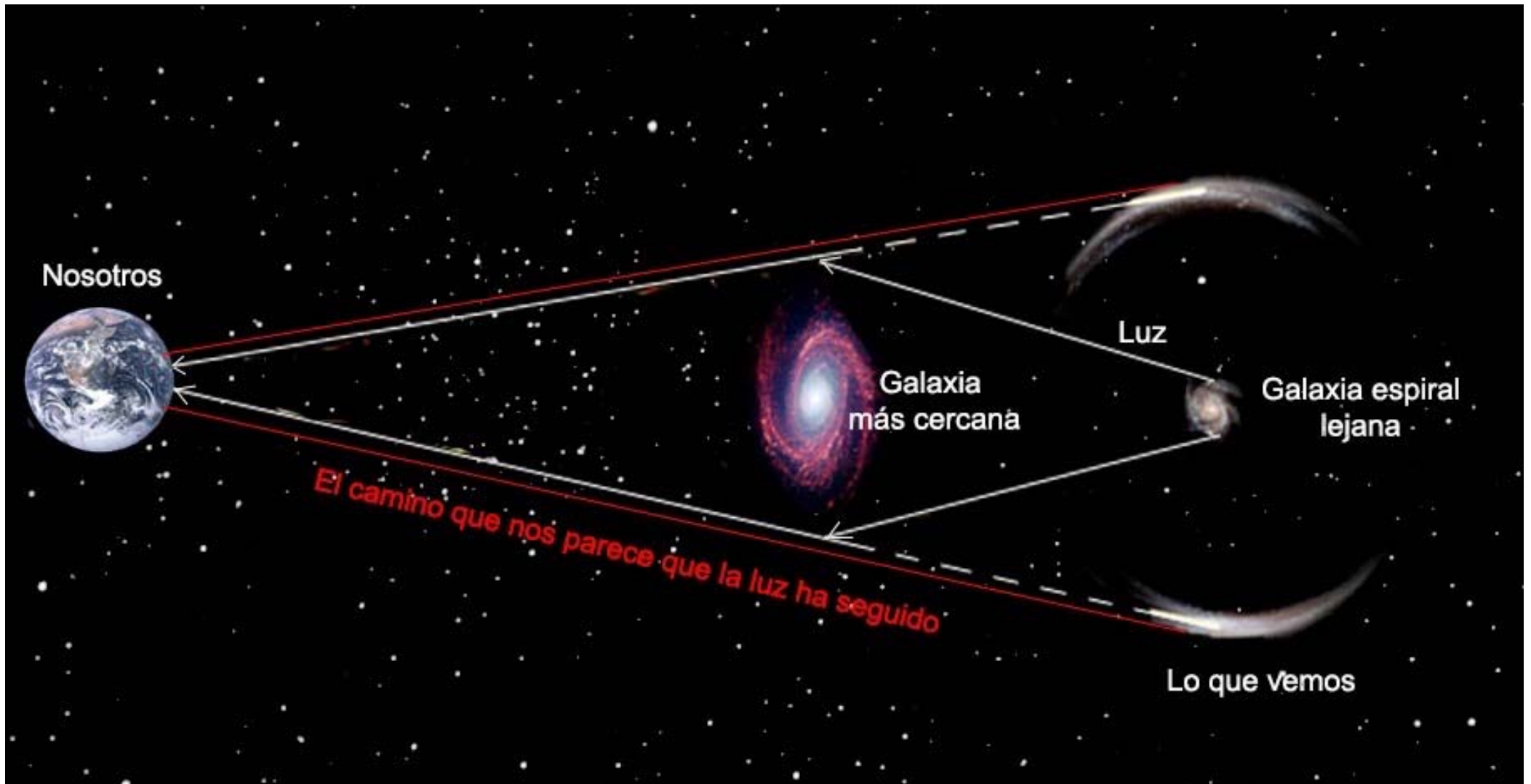
No obstant, desestimà la possibilitat que el fenomen pogués observar-se ja que només va considerar estels individuals com a responsables de la lent.

Lents gravitatòries!

Fou al 1937 quan el genial astrònom Fritz Zwicky considerà, per primer cop, la possibilitat que una galàxia sencera actués com a responsable de la lent, i va calcular que en aquest cas es podria perfectament observar el fenomen amb els mitjans al nostre abast.



Lents gravitatòries!

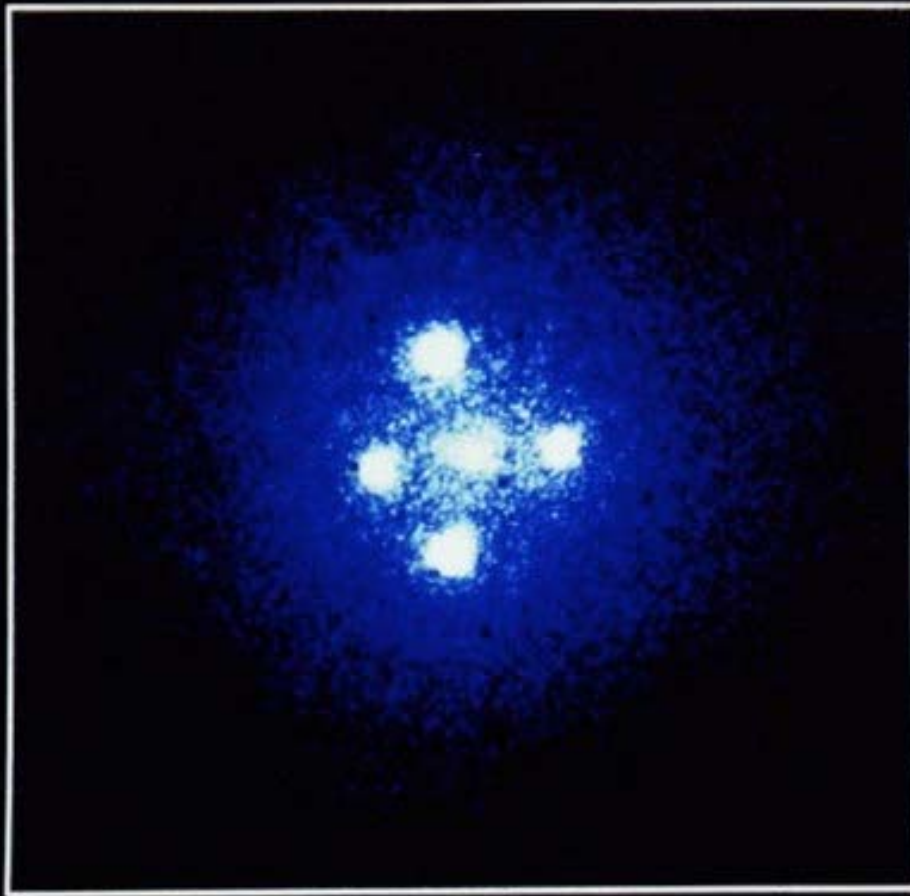


Lents gravitatòries!

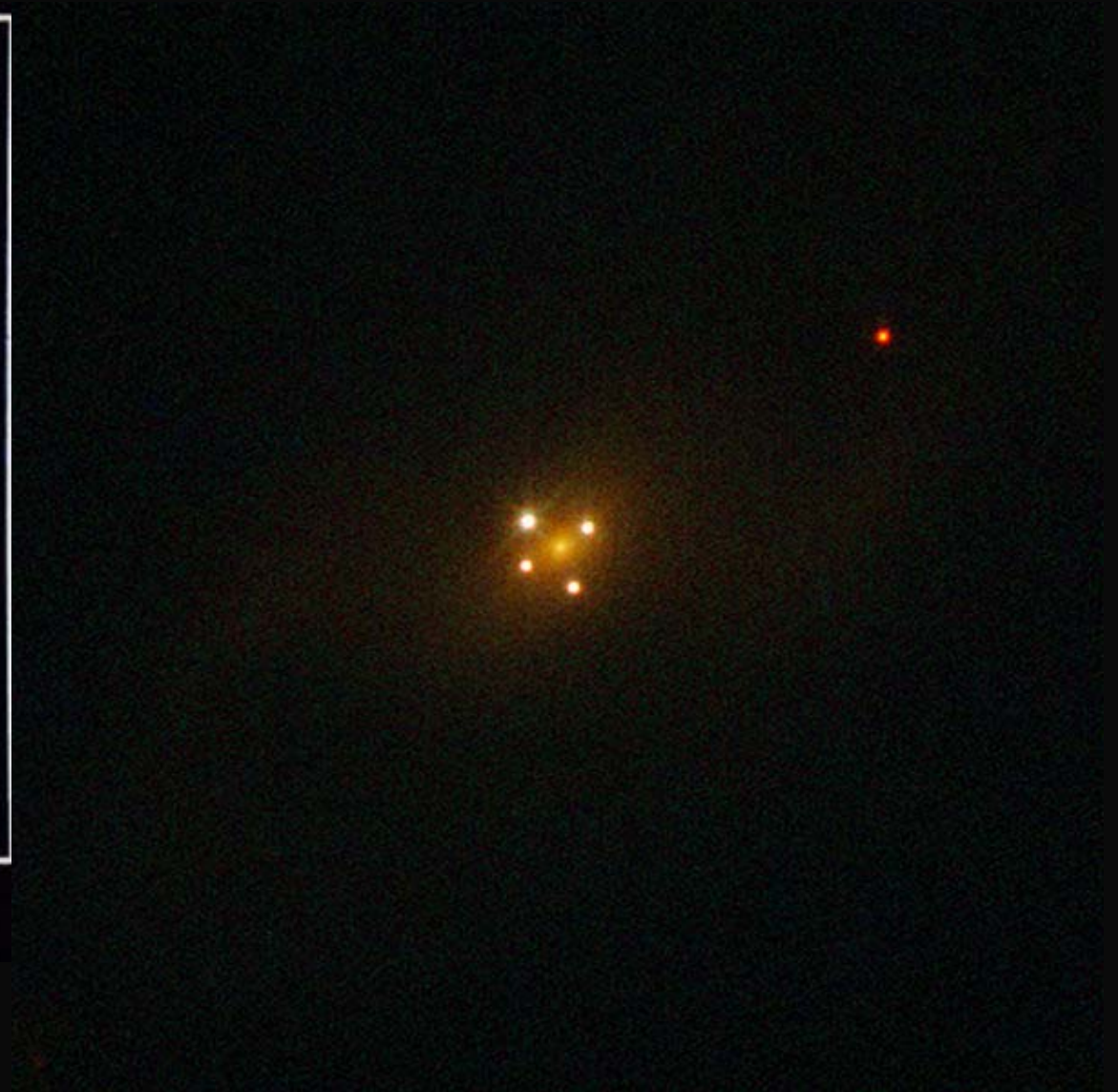
Al 1979 es va descobrir la primera lent gravitatòria, SBS 0957+56, dita el “quàsar bessó” ja que inicialment es va pensar que eren dos objectes quasi-estelars idèntics.

Als anys 80 del segle passat, els astrònoms es van adonar que la combinació d'imatges CCD (dispositiu de càrregues acoblades) amb els moderns ordinadors permetien mesurar la lluminositat de milions d'estels cada nit. Això implicava que es podrien detectar molts miratges, com de fet ha succeït des d'aleshores.

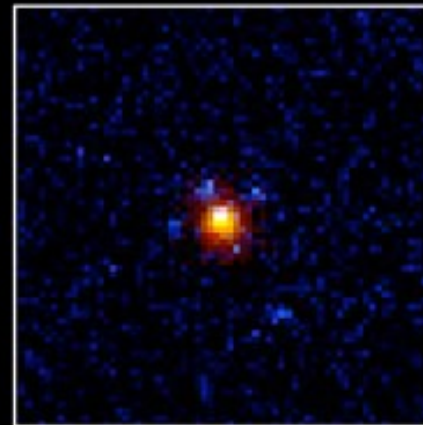
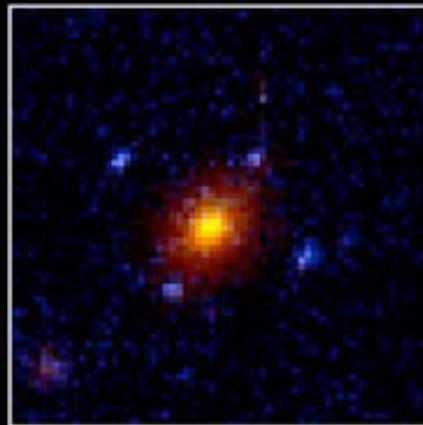
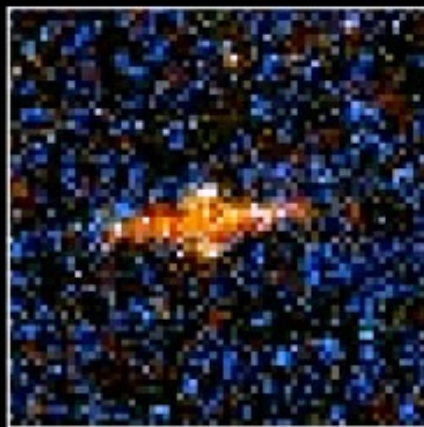
“Creu” d’Einstein



Gravitational Lens G2237+0305



UZC J224030.2+032131



Gallery of Gravitational Lenses

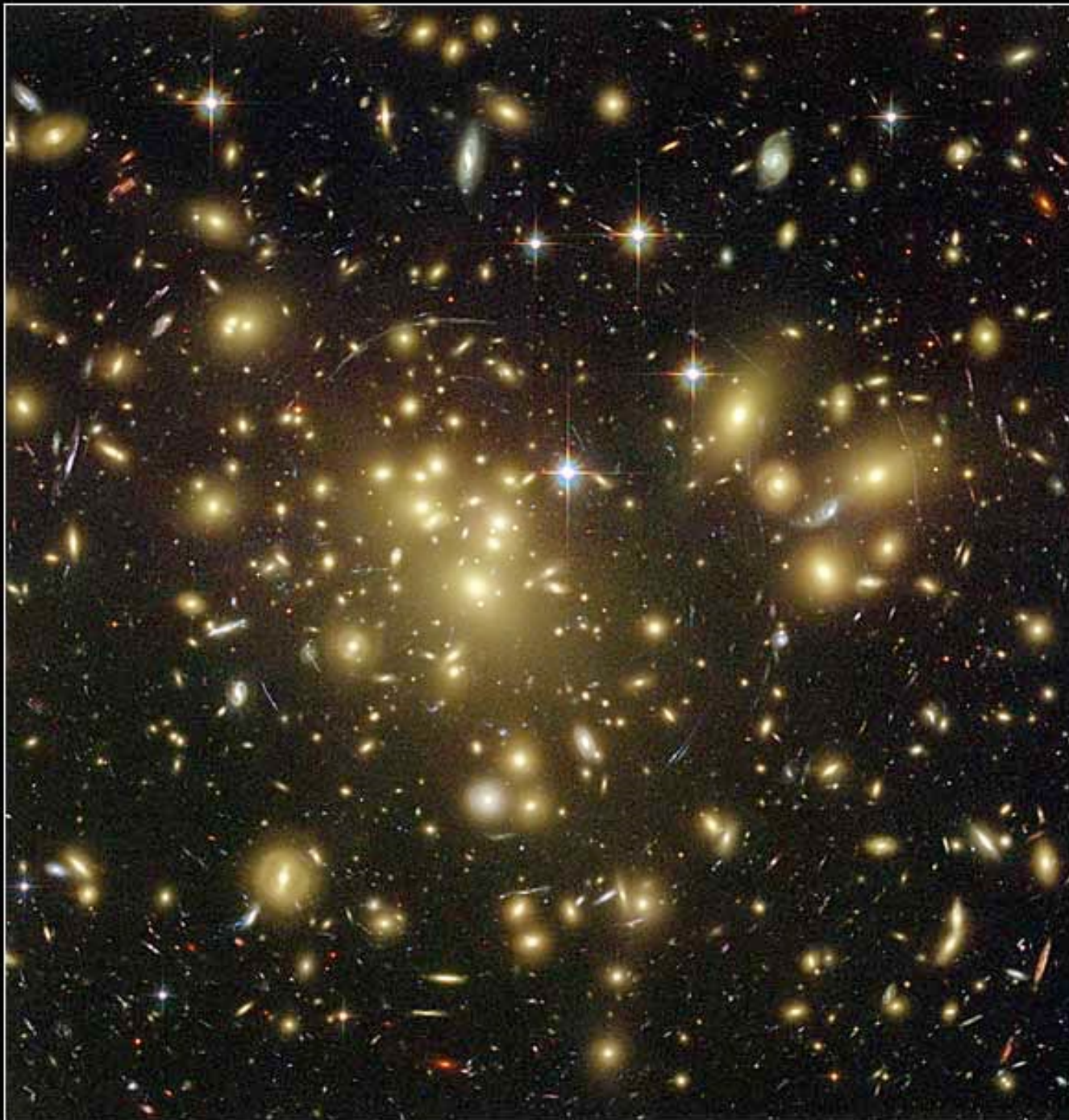
HST • WFPC2

PRC99-18 • STScI OPO • K. Ratnatunga (Carnegie Mellon University) and NASA

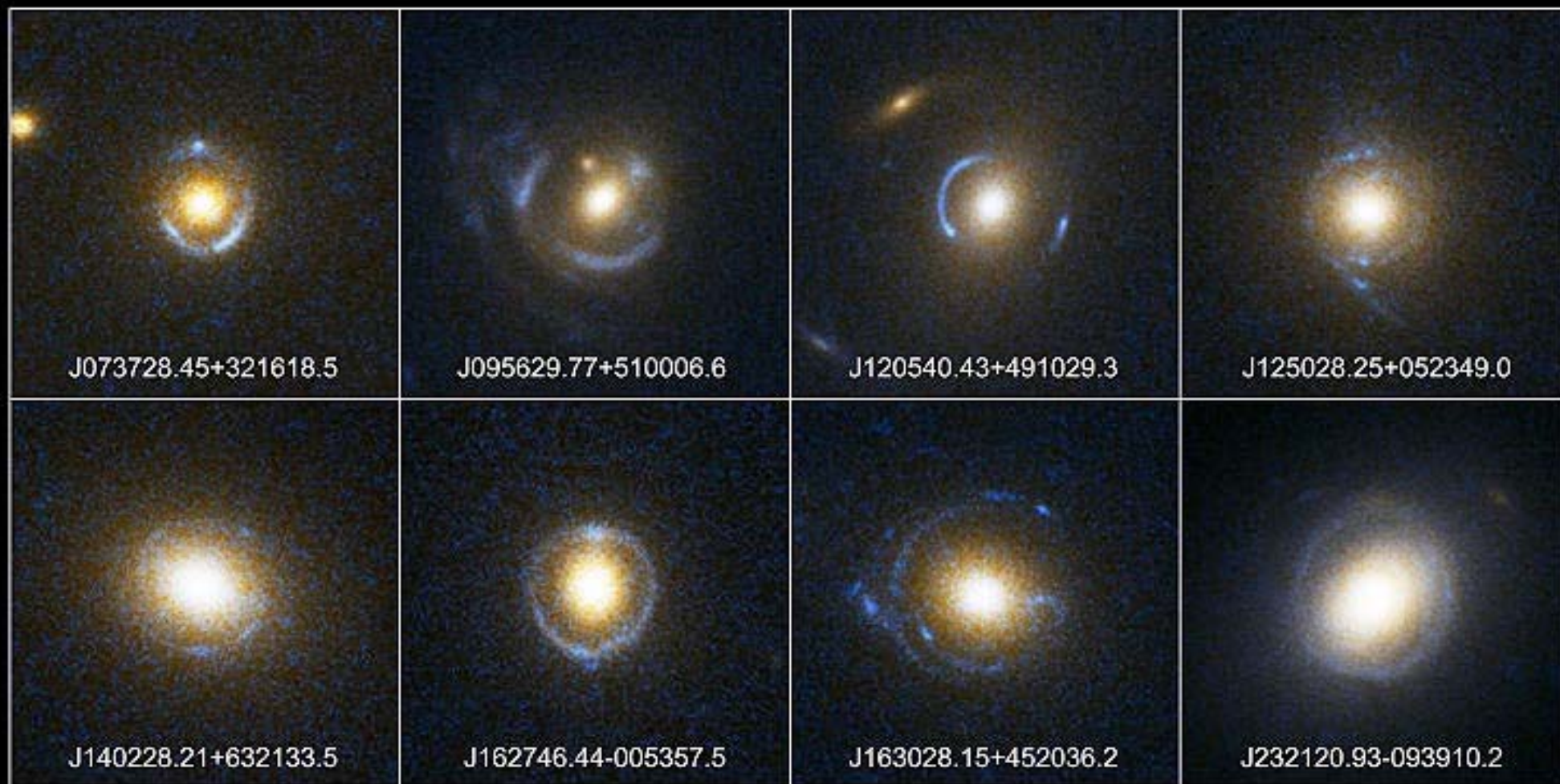
Abell 2218: Un miratge produït per un cúmul galàctic



NASA, ESA, and Johan
Richard (Caltech, USA)
Acknowledgement: Davide de
Martin & James Long
(ESA/Hubble)

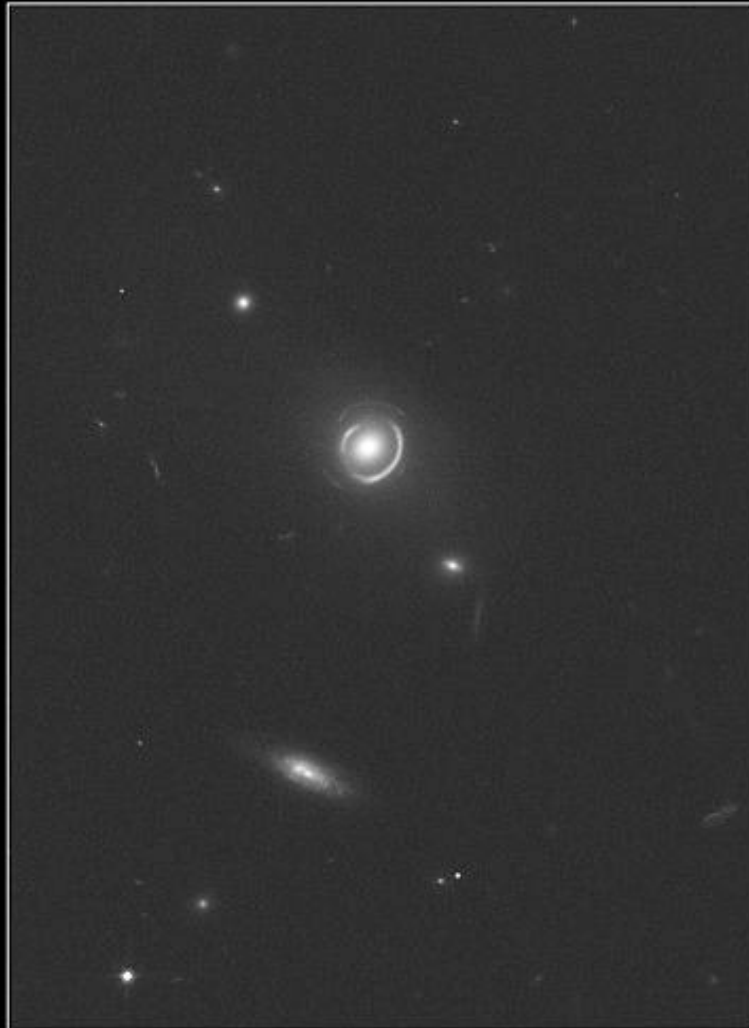


NASA, N. Benitez (JHU), T. Broadhurst (Hebrew Univ.), H. Ford (JHU),
M. Clampin(STScI), G. Hartig (STScI), G. Illingworth (UCO/Lick Observatory),
the ACS Science Team and ESA STScI-PRC03-01a



Einstein Ring Gravitational Lenses
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

Double Einstein Ring SDSSJ0946+1006



Hubble Space Telescope ■ ACS/WFC



NASA, ESA, R. Gavazzi and T. Treu (University of California, Santa Barbara), and the SLACS Team

STScI-PRC08-04

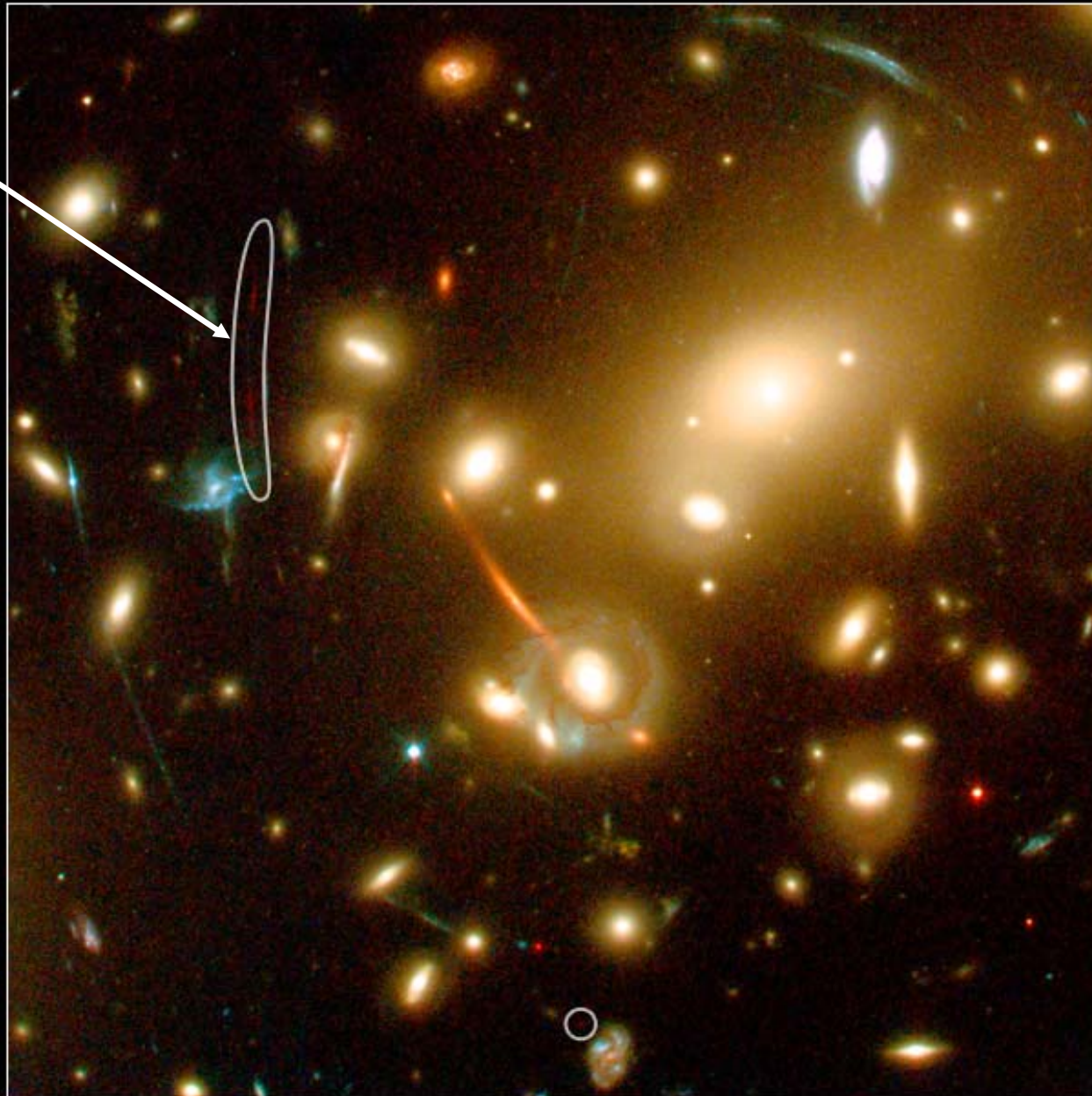
Lents gravitatòries: aplicacions astronòmiques

Hi ha múltiples aplicacions astronòmiques. Per exemple:

- 1) Van permetre detectar, amb el telescopi Hubble, **la galàxia més llunyana** (al 2004) gràcies a l'efecte de miratge exercit pel cúmul d'Abell 2218.
- 2) També ha permès descobrir **planetes extrasolars** mitjançant tècniques de microlent. Es creu que això permetrà detectar la presència de planetes de massa terrestre al voltant d'estels semblants al Sol.
- 3) Són susceptibles d'utilitzar-se en sentit invers: a partir de la deformació de les fonts de fons es pot deduir la distribució de massa de l'objecte que fa de lent. Això és especialment útil per al cas de cúmuls de galàxies, perquè permet rastrejar la **matèria fosca**.

Abell 2218 de nuevo

Distant Galaxy Lensed by Cluster Abell 2218 *HST* • *WFPC2* • *ACS*



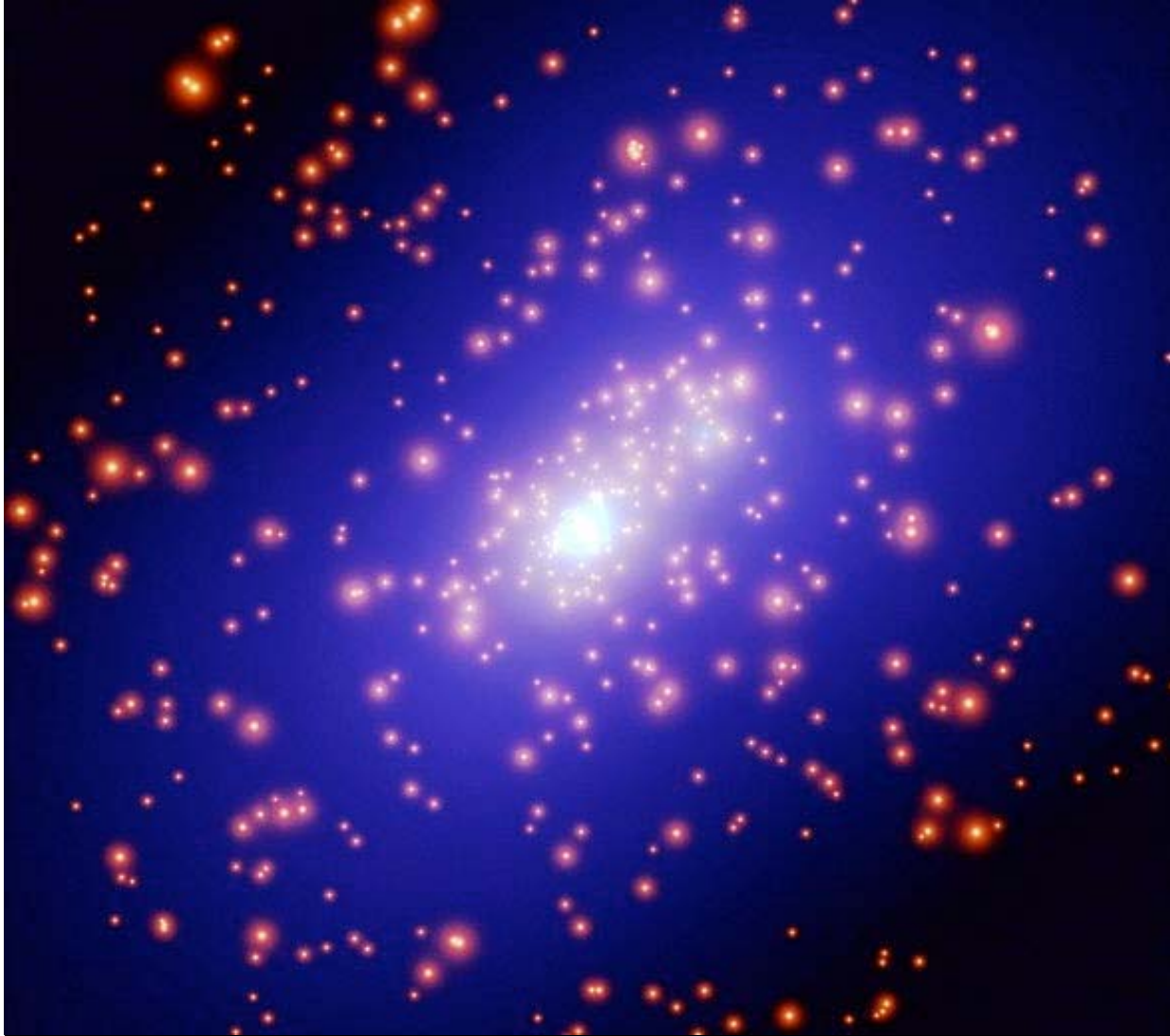
ESA, NASA, J.-P. Kneib (Caltech/Observatoire Midi-Pyrénées) and R. Ellis (Caltech)) STScI-PRC04-08

Matèria fosca!



Vera Rubin

Les **lents gravitatòries** mostren una distribució de matèria **molt més extensa** espacialment que els cúmuls galàctics visibles que actuen de lent.



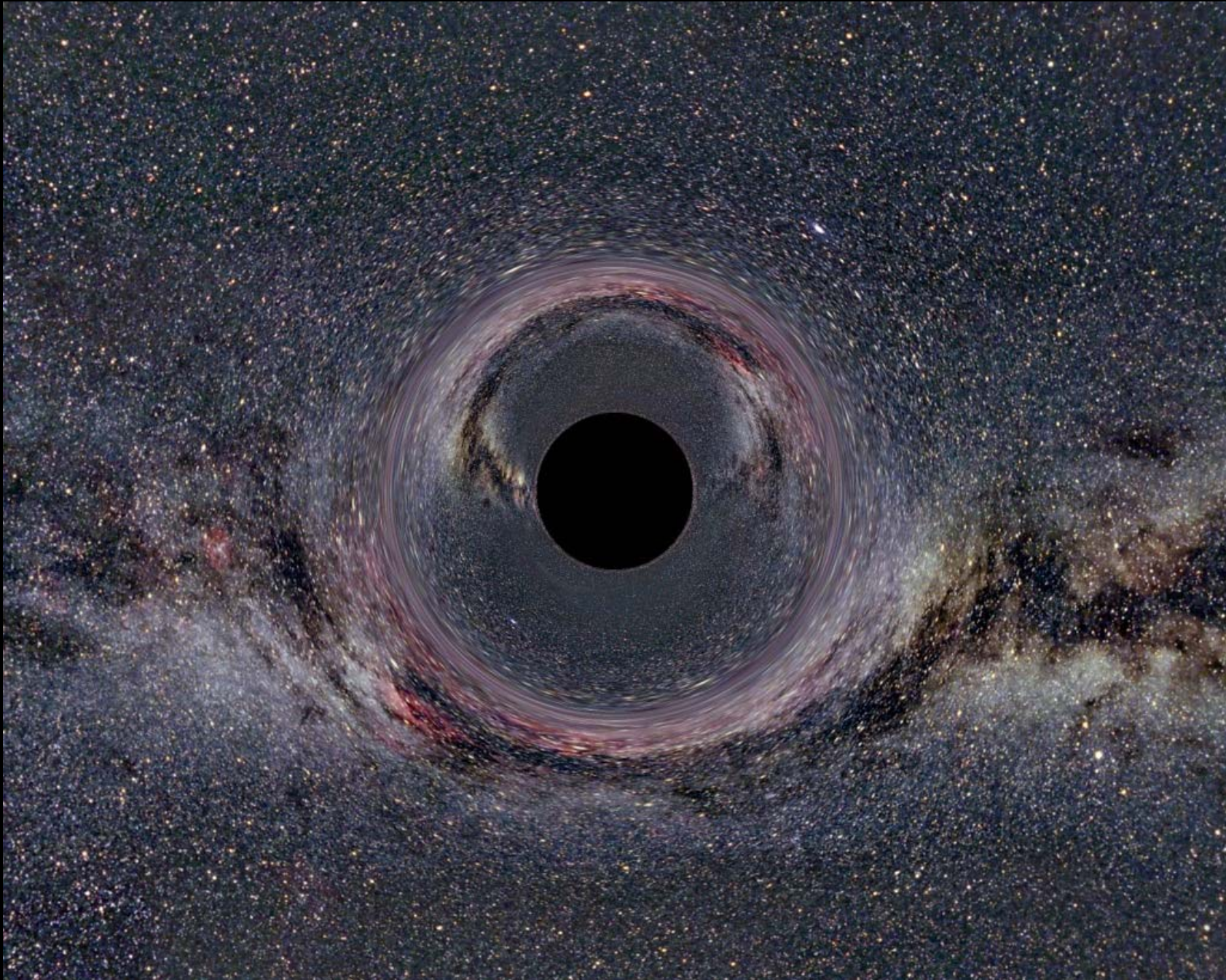
La masa de un grupo de galaxias gigantes, CL0025 y 1654, situadas a unos 4.500 millones de años-luz produce una lente gravitatoria de manera que forma imágenes detectables de galaxias aún más distantes. La masa total del grupo es la suma de la que se deduce de su materia ordinaria luminosa, junto con la materia oscura del grupo, cuya naturaleza desconocemos. Analizando la distribución de la materia visible y el fenómeno de la lente se puede trazar un mapa de donde está la materia oscura.

Aquí se muestra el mapa resultante, en azul la materia oscura, y en amarillo las posiciones de las galaxias del cúmulo. Se basa en numerosas observaciones del telescopio Hubble, revelando que la materia oscura se agolpa alrededor de la materia visible.

Altres prediccions, i altres èxits, de la Relativitat General

- ☒ La gravetat afecta el temps
- ☒ Geometrització de la gravetat
 - ☒ Desviació de la llum i lents
 - ☒ Forats (o clots) negres

Forats negres



Clots negres

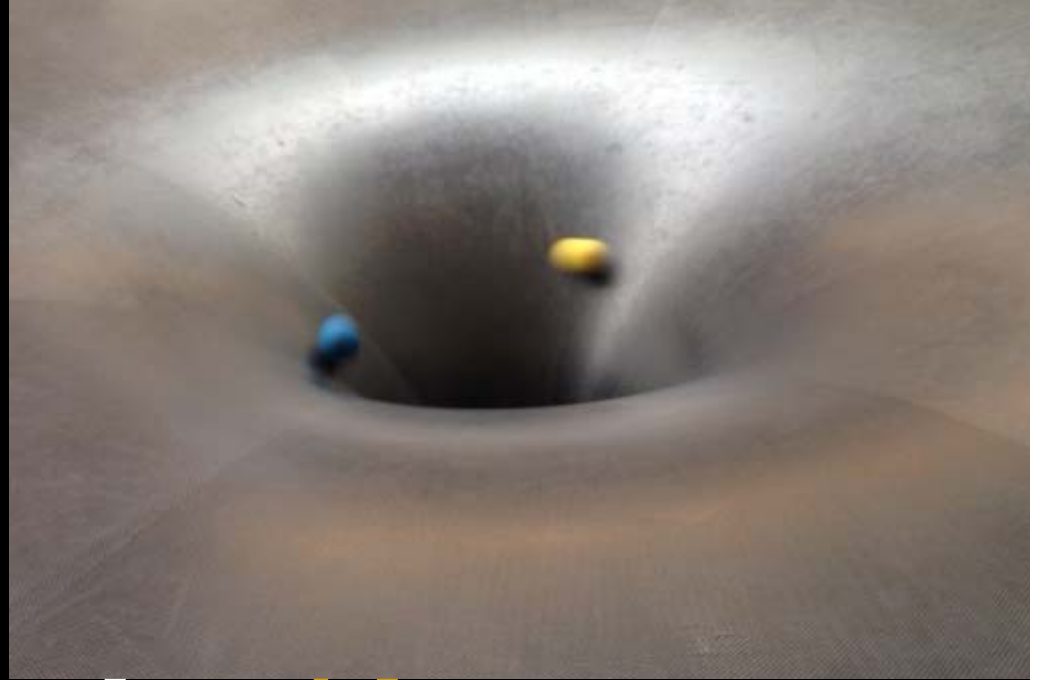


Són el cas extrem de la desviació de la llum. Si la massa total del cos deformant l'espai-temps està molt concentrada, la llum pateix tanta desviació que, de fet, es incapaç de sortir-ne.

Són els objectes macroscòpics **més senzills** de l'Univers, sense estructura interna: només semblen tenir **Massa i Moment angular** intrínsec

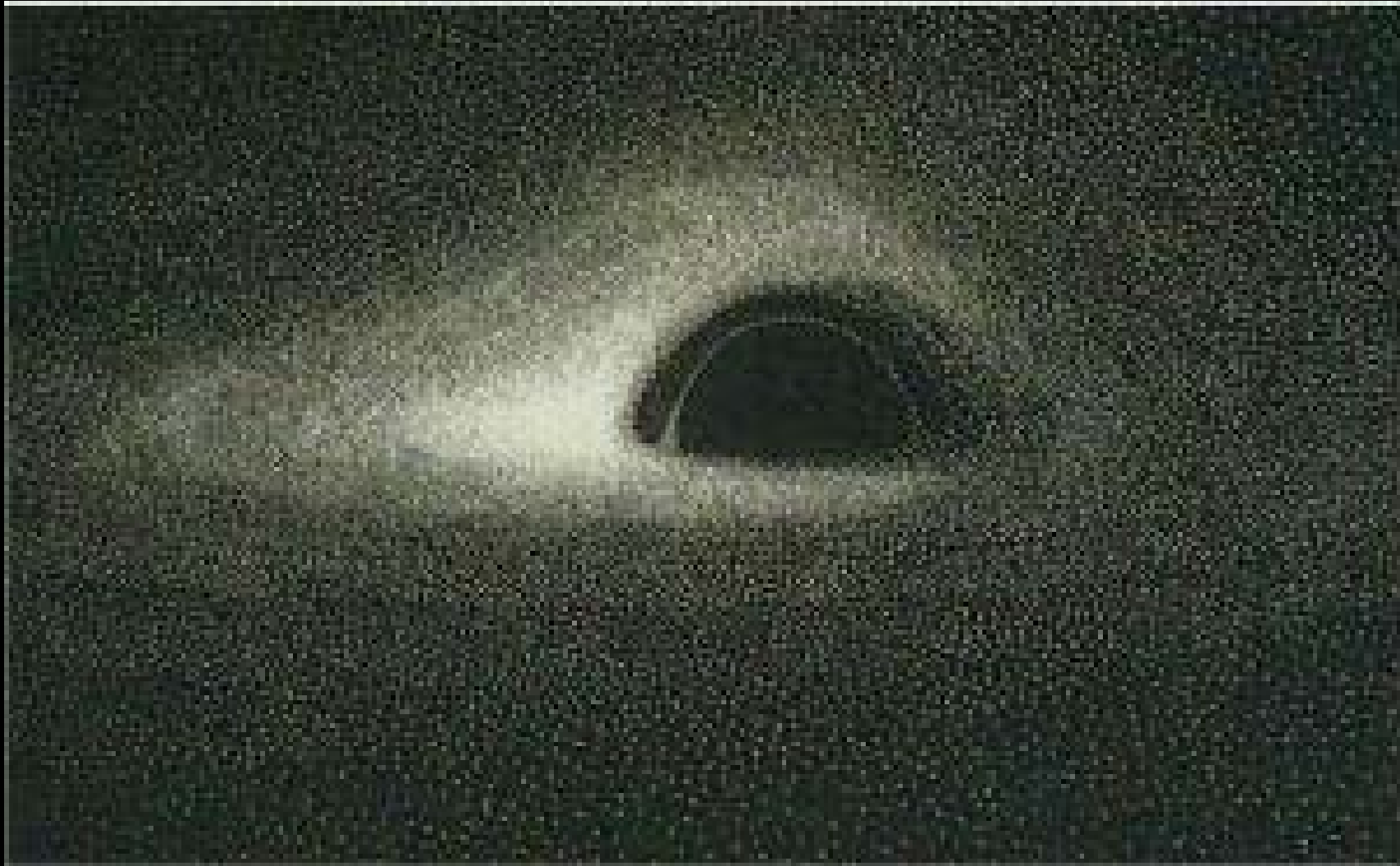
No obstant, són poderosíssims.
I és misteriós el seu interior...

Clots negres



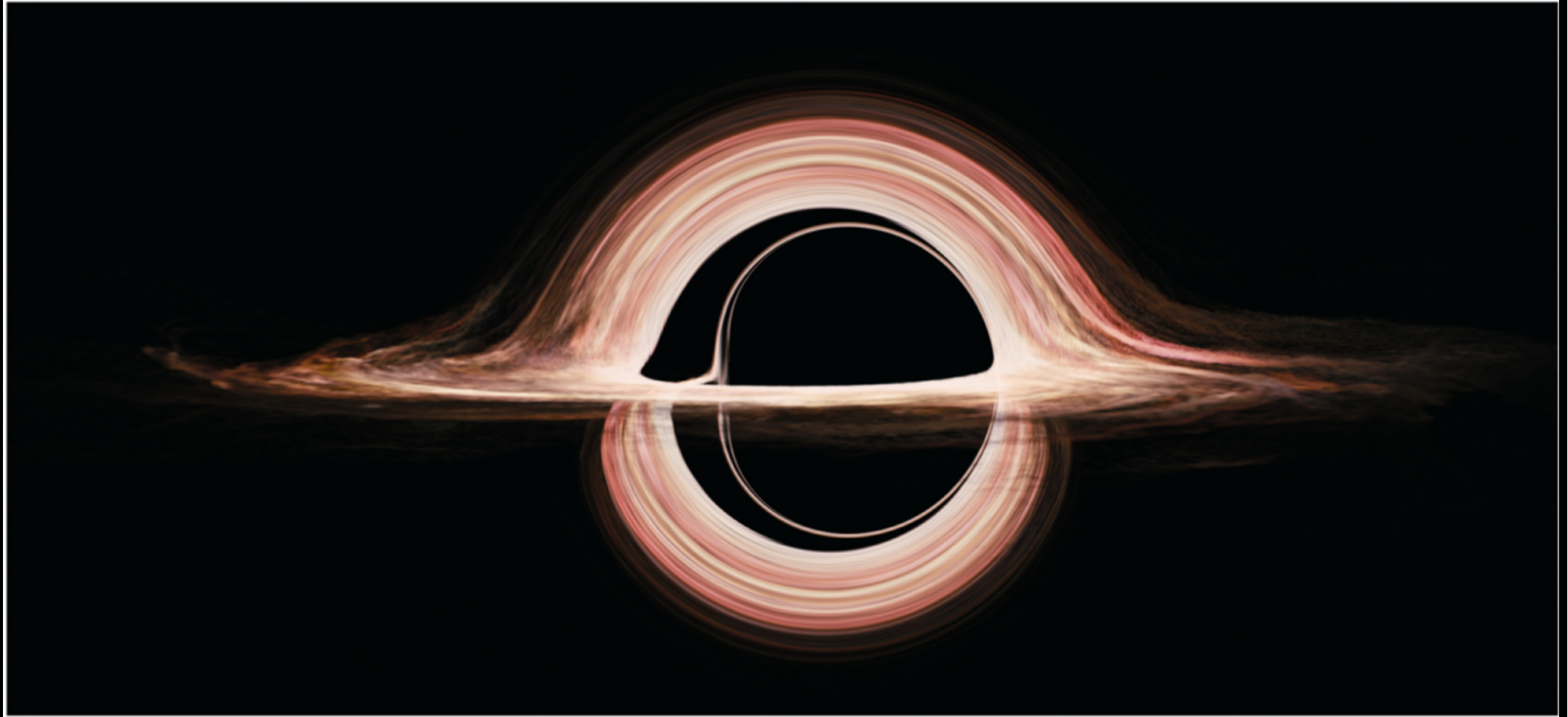
Insòlitàment, són molt **púdics** ja que semblen amagar les seves misterioses intimitats darrera una superfície, “l’horitzó d’events”, que actua com a celosa censora per a indiscrets observadors externs...

Primer esquema realista de com es veuria un forat negre (sense rotació)



(Luminet)

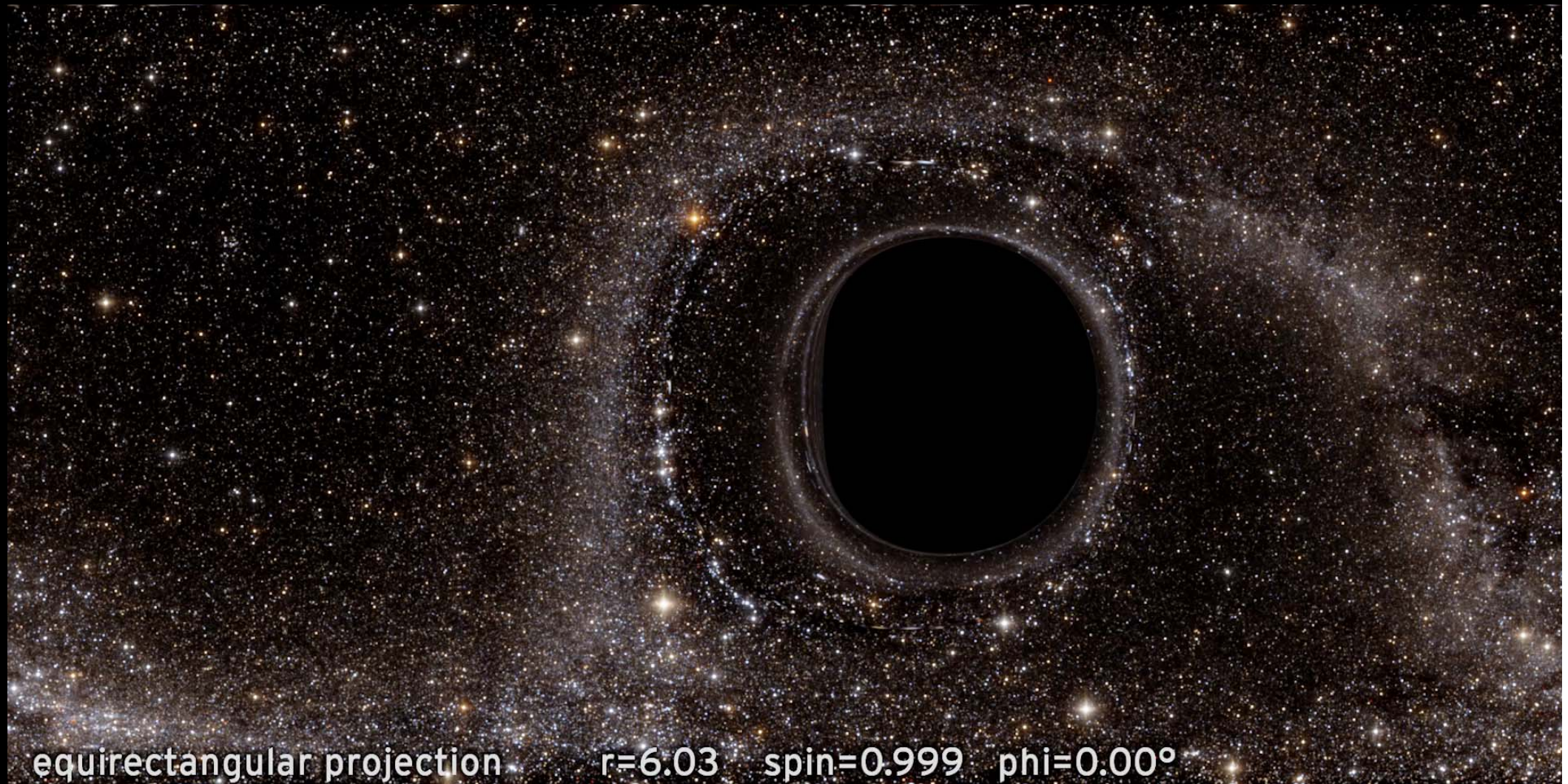
Esquema realista recent (**Interstellar**) d'un forat negre i el seu disc d'acreció



(Figure 14 from Gravitational lensing by spinning black holes in astrophysics, and in the movie Interstellar
Oliver James et al 2015 Class. Quantum Grav. 32 065001 doi:10.1088/0264-9381/32/6/065001

)

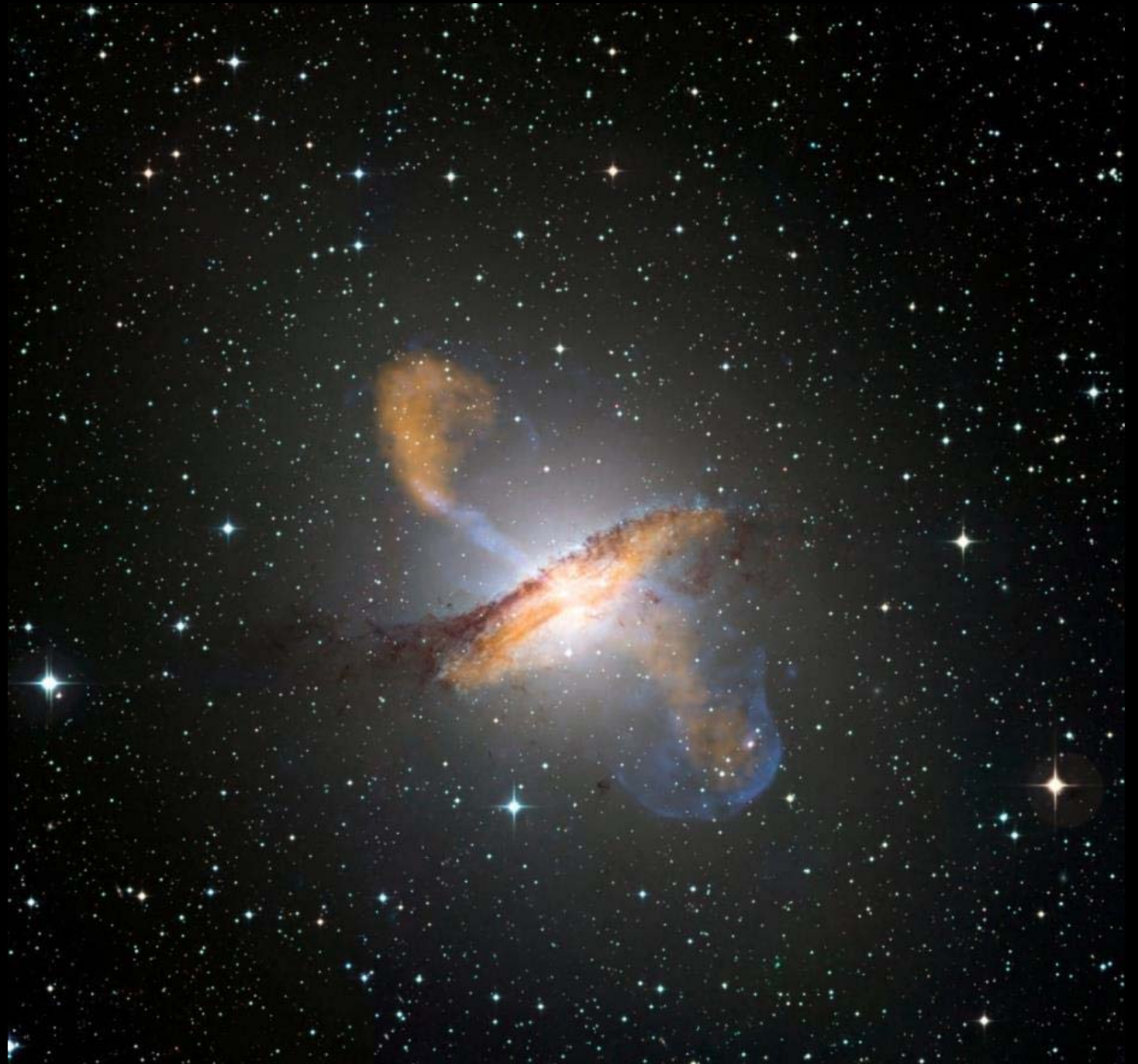
Vista d'un camp estelar sota la influència d'un forat negre amb la càmera a $r=6,03 \text{ GM}/c^2$



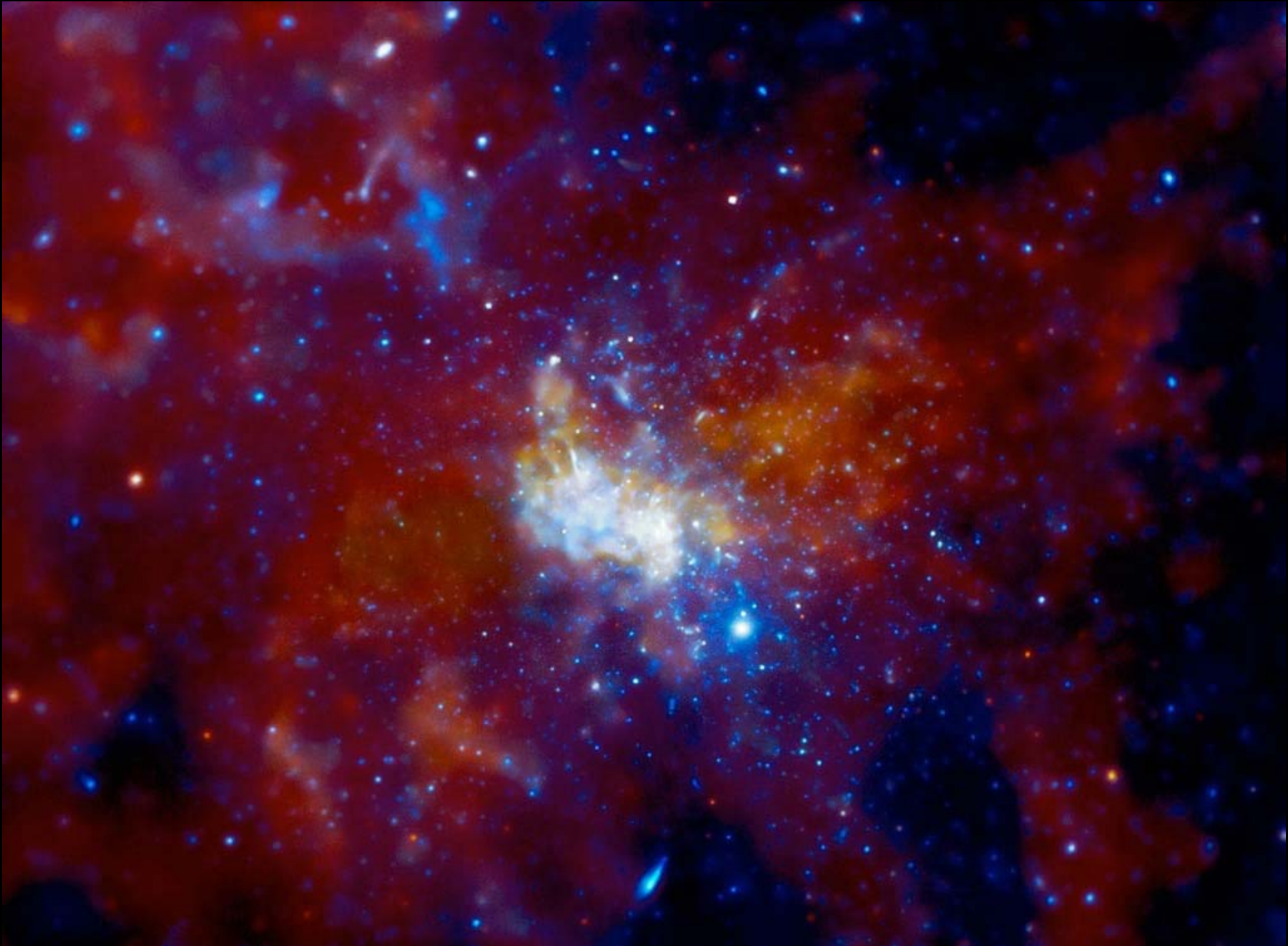
La majoria de les galàxies semblen contenir un forat negre supermassiu al seu centre.

Centaurus
A:
Conté un
forat negre
de 55
milions de
quintilions
de Kg

ESO/WFI
(Optical);
MPIfR/ESO/AP
EX/A.Weiss et
al.
(Submillimetre);
NASA/CXC/CfA
/R.Kraft et al.
(X-ray)



Sagitari A*: “el nostre” propi forat negre



Sagitari A*

(4 millions de quintillions)

ESO Video News Reel 46/08

Unprecedented 16-year long study tracks
stars orbiting Milky Way black hole.

B-roll

European Southern Observatory

Copyright ESO 2008

Altres prediccions, i altres èxits, de la Relativitat General

- ☒ La gravetat afecta el temps
- ☒ Geometrització de la gravetat
 - ☒ Desviació de la llum i lents
 - ☒ Forats (o clots) negres
- ☒ Prediccions cosmològiques

L'Univers està en **expansió**

Es troba en una explosió permanent després d'esclatar fa uns **13798 milions d'anys** (“**big bang**”) on tot el que veiem es va originar

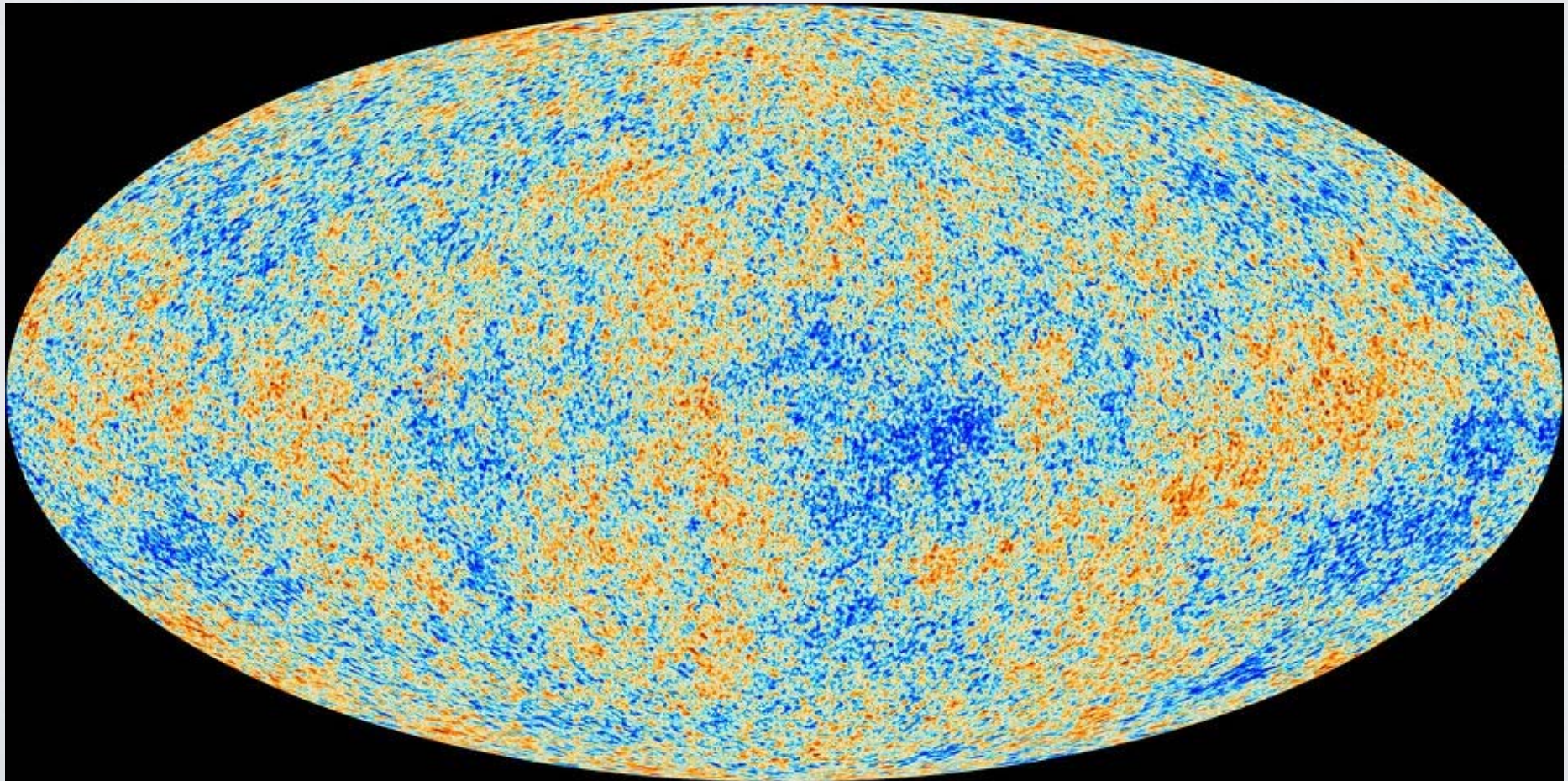
L'Heli es va formar al primer minut de l'Univers

Les estructures que detectem van créixer a partir de diminutes irregularitats inicials (d'origen possiblement quàntic).

L'Univers està a **-270,4°**

L'explosió de l'Univers s'accelera!!

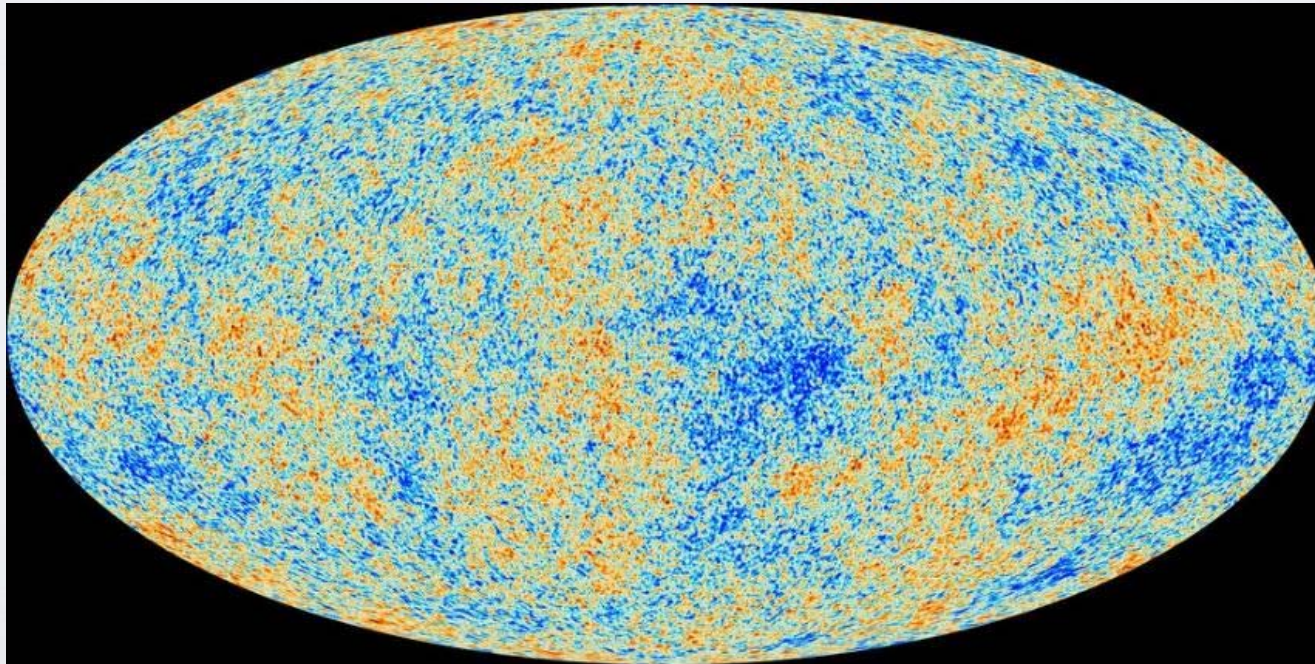
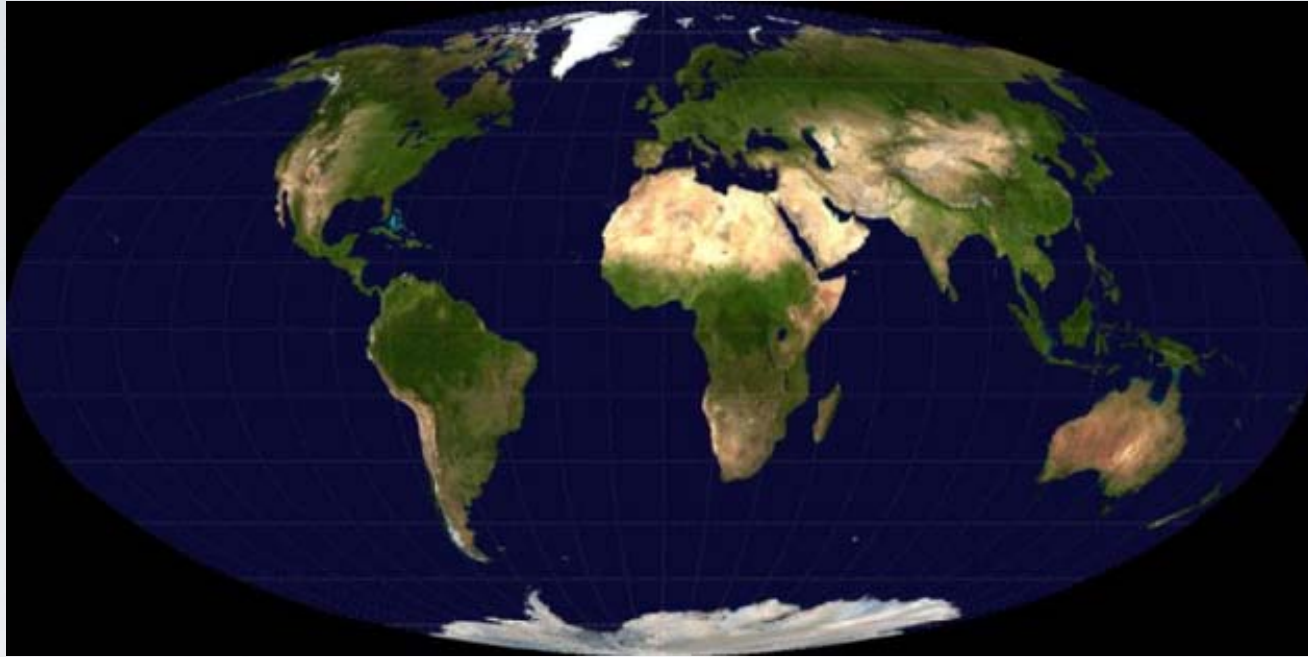
LA FOTO DE L' UNIVERS NOUNAT

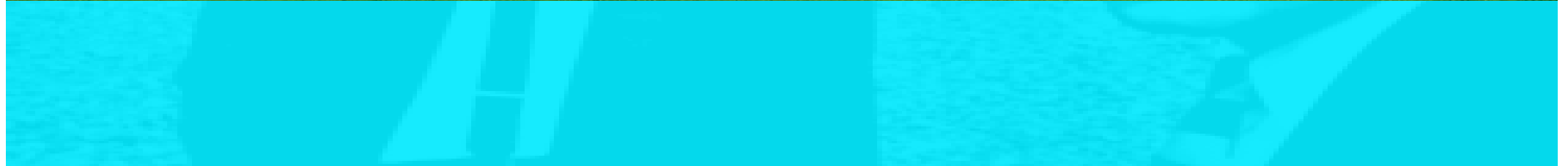


PROJECCIÓ MOLLWEIDE



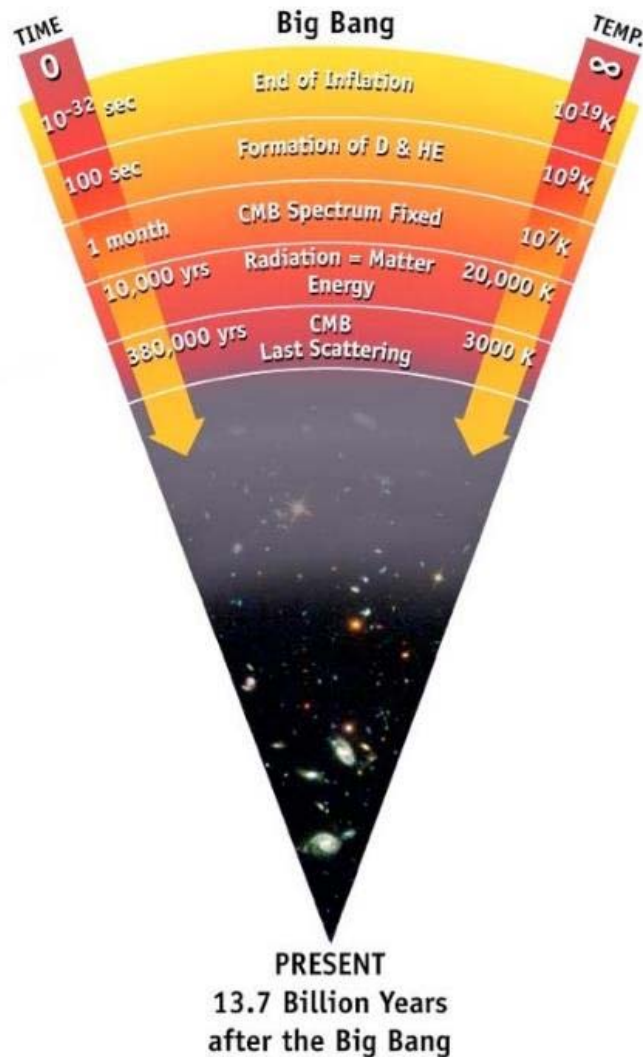
PROJECCIÓ MOLLWEIDE





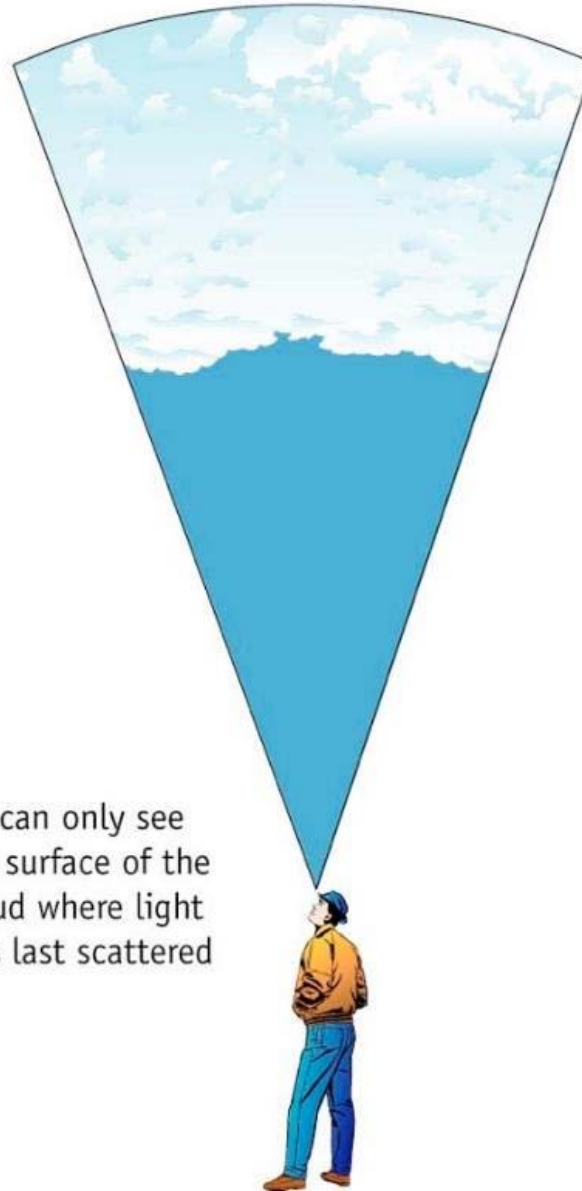


LA SUPERFÍCIE DE LA DISPERSIÓ POSTREMA



The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatter" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.

We can only see the surface of the cloud where light was last scattered



La postrema dispersió va ocórrer quan l'Univers duia uns 380000 anys esclatant.

O sigui, era un Univers nadó



IMPLICACIONS: LA FORMA DE L'UNIVERS

El resultat és... :



Univers majorment pla!



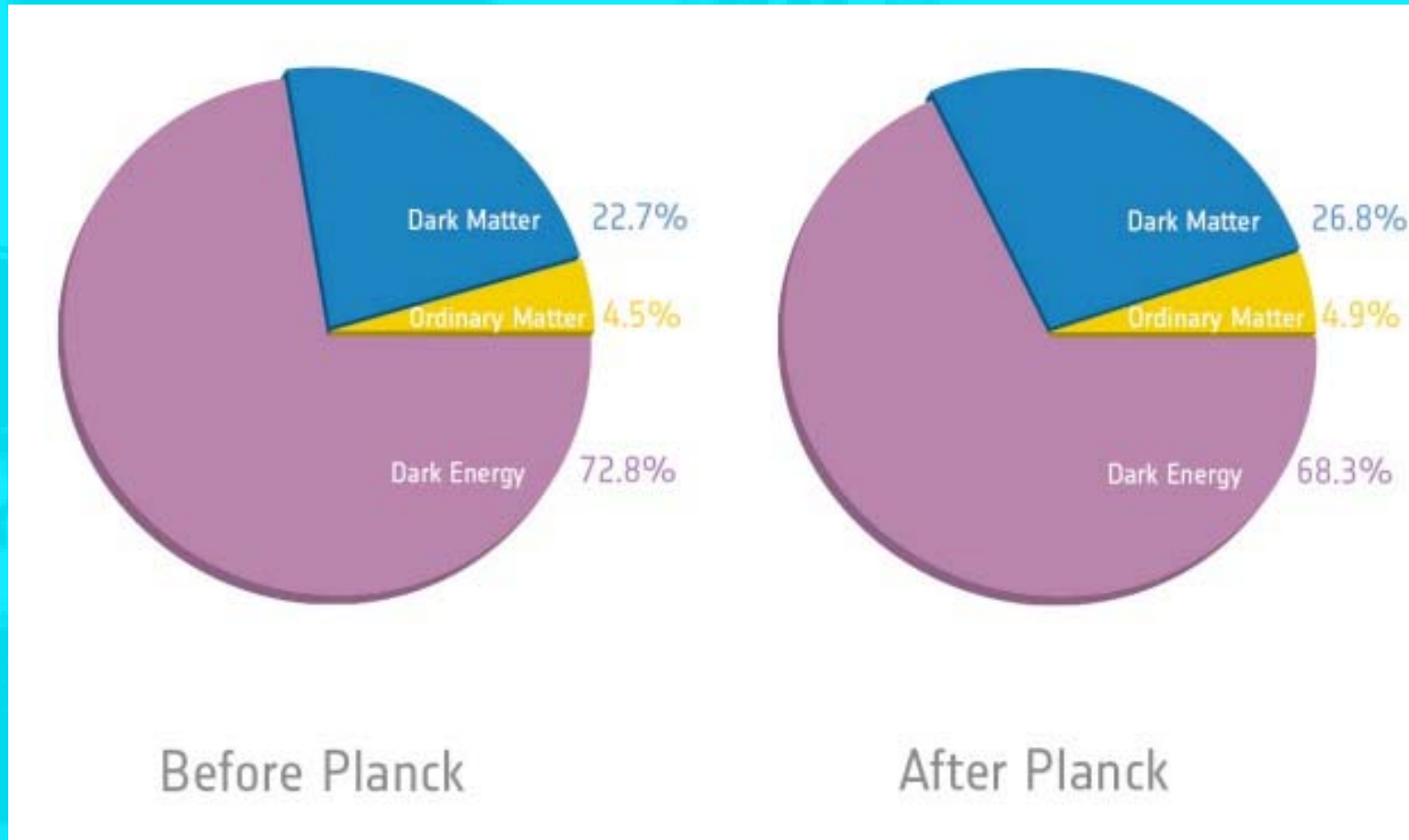
Dins dels màrges d'error, i especialment.

CONSEQÜÈNCIES (MISTERIOSES): COMPOSICIÓ

Com vam dir, segons la Relativitat General, la forma de l'Univers depèn del seu contingut material i energètic

Resulta que no es veu, ni es detecta, suficient matèria o energia per a que l'Univers sigui, com ho sembla ésser, pla.

CONSEQÜÈNCIES (MISTERIOSES): COMPOSICIÓ



Però això és una
altra història...

Altres prediccions, i altres èxits, de la Relativitat General

- ☒ La gravetat afecta el temps

- ☒ Geometrització de la gravetat

 - ☒ Desviació de la llum i lents

 - ☒ Forats (o clots) negres

- ☒ Prediccions cosmològiques

- ☒ Ones gravitatòries

Ones gravitatòries

Una **ona gravitatòria** és una fluctuació de la curvatura de l'espai-temps que es propaga ondulatòriament. Aquestes ones transporten energia.

Les seves fonts més rellevants són sistemes binaris amb components individuals que poden ésser nanes blanques, estels de neutrons o forats negres, o grans cataclismes com ara l'explosió de supernovae.

Les ones gravitatòries no han estat detectades encara **directament**, malgrat que hi ha diversos detectors gegantíns al món, però s'ha provat la seva existència de manera indirecta, el que en particular comportà el **premi Nobel de física de 1993**.

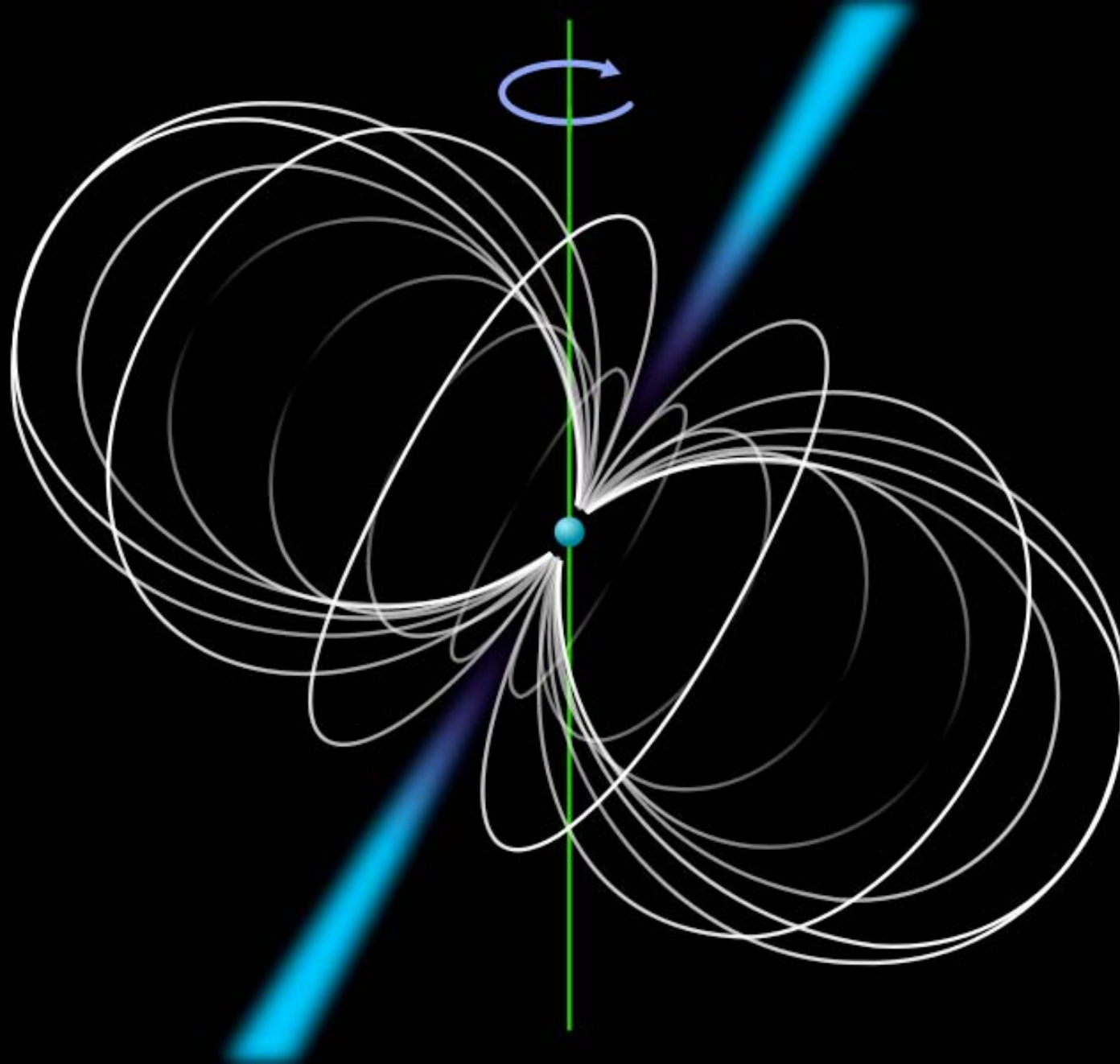


PSR B 1913+16

Es un **púlsar** en un sistema binario cuyo acompañante es invisible. Descubierta en 1974 por Hulse y Taylor, es una estrella de neutrones altamente imantada que gira sobre sí misma a velocidad enorme: el periodo de rotación es de 59 milisegundos (o sea, da 17 vueltas por segundo). Su masa es de 1,441 (la compañera tiene 1,387) masas solares, su radio de 9,79 Km (!!) y su periodo orbital es de 7,75 horas. Las distancias mínima y máxima son de 746.600 Km y de 3.153.600 Km respectivamente.



PÚLSAR



Un púlsar és com un far...



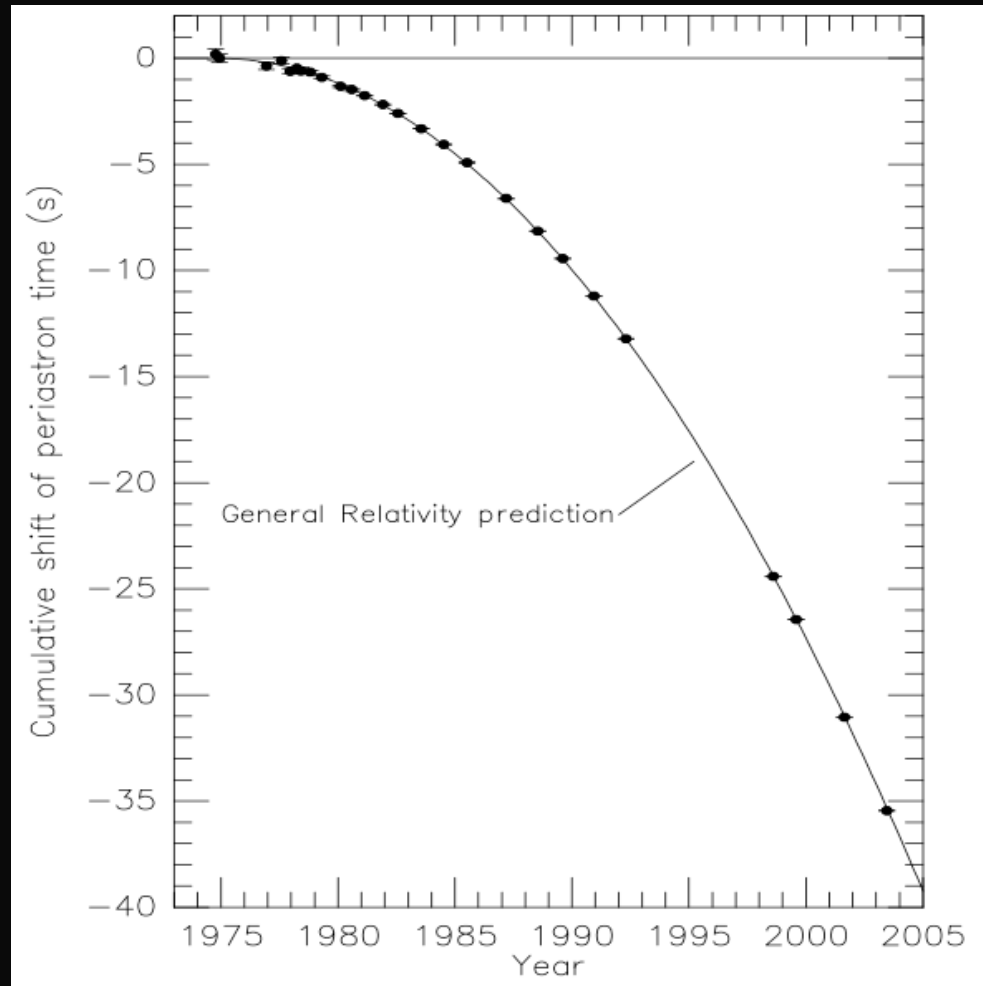
PSR B 1913+16

Els seus descobridors van notar que hi havia una variació sistemàtica en la l'arribada dels polsos, a vegades avançats, d'altres amb retard respecte la mitjana. I van advertir que aquests canvis es modulaven suaument, repetint-se amb un període de 7,75 hores. Fou quan van adonar-se que havia d'haver un estel company, essent capaços a partir de llavors de **mesurar els paràmetres orbitals del sistema, i llurs variacions.**

PSR B 1913+16

Així, van comprovar que l'òrbita ha anat encongint-se des que es va descobrir el sistema, d'acord amb el que prediu l'emissió d'ones gravitatòries de la Relativitat General.

El període orbital decreix uns 76,5 microsegons cada any, de manera que el semieix major de l'òrbita disminueix en 3,5 metres per any.



Russel Alan Hulse

Premi Nobel de física 1993



Joseph Hooton Taylor Jr.

PSR B 1913+16

Com va notar R. Penrose, la Relativitat General prediu l'òrbita d'aquest púlsar amb una precisió de 0,0000000000000001 (10^{-14}): **la predicció confirmada experimentalment de major precisió de tota la física teòrica!**

- ([*Las sombras de la mente: hacia una comprensión científica de la consciencia*](#), Editorial Crítica, 1996)

PSR J0737 - 3039

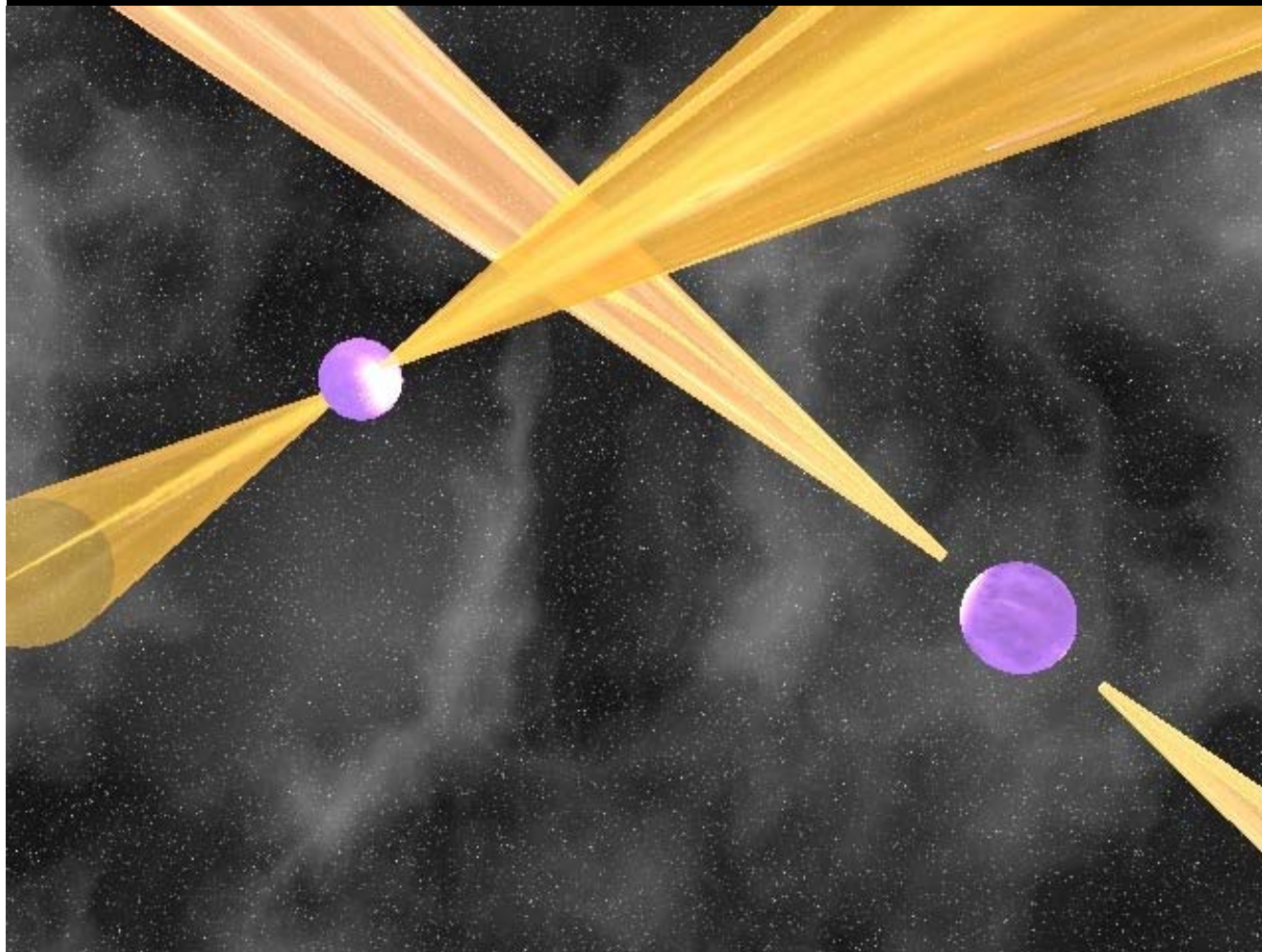
Un nou, encara millor,
sistema binari per a
comprovar la validesa
de la teoria.

És el primer púlsar
doble conegut.



(Discoverit per l'equip de Marta Burgay)

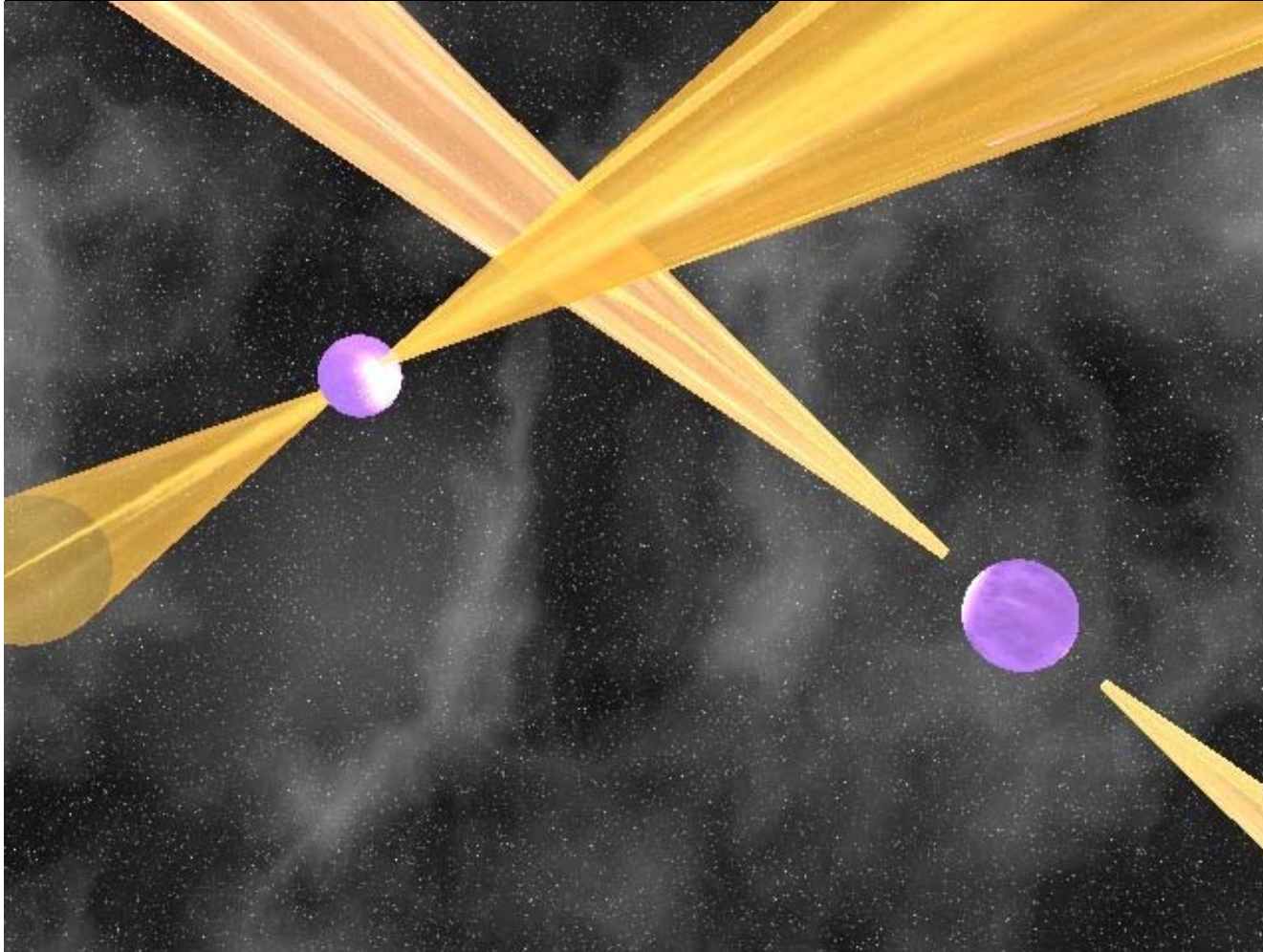
PSR J0737 - 3039



Credit: Michael Kramer (Jodrell Bank Observatory, University of Manchester)

Visió artística dels dos púlsars orbitant en torn del seu centre de masses comú. El seu “any” és de 2,4 hores. El púlsar més ràpid gira sobre sí mateix 45 vegades per segon (o sigui, gairebé 3000 revolucions per minut). L’altre té un període de rotació de 2,8 segons (22 revolucions per minut).

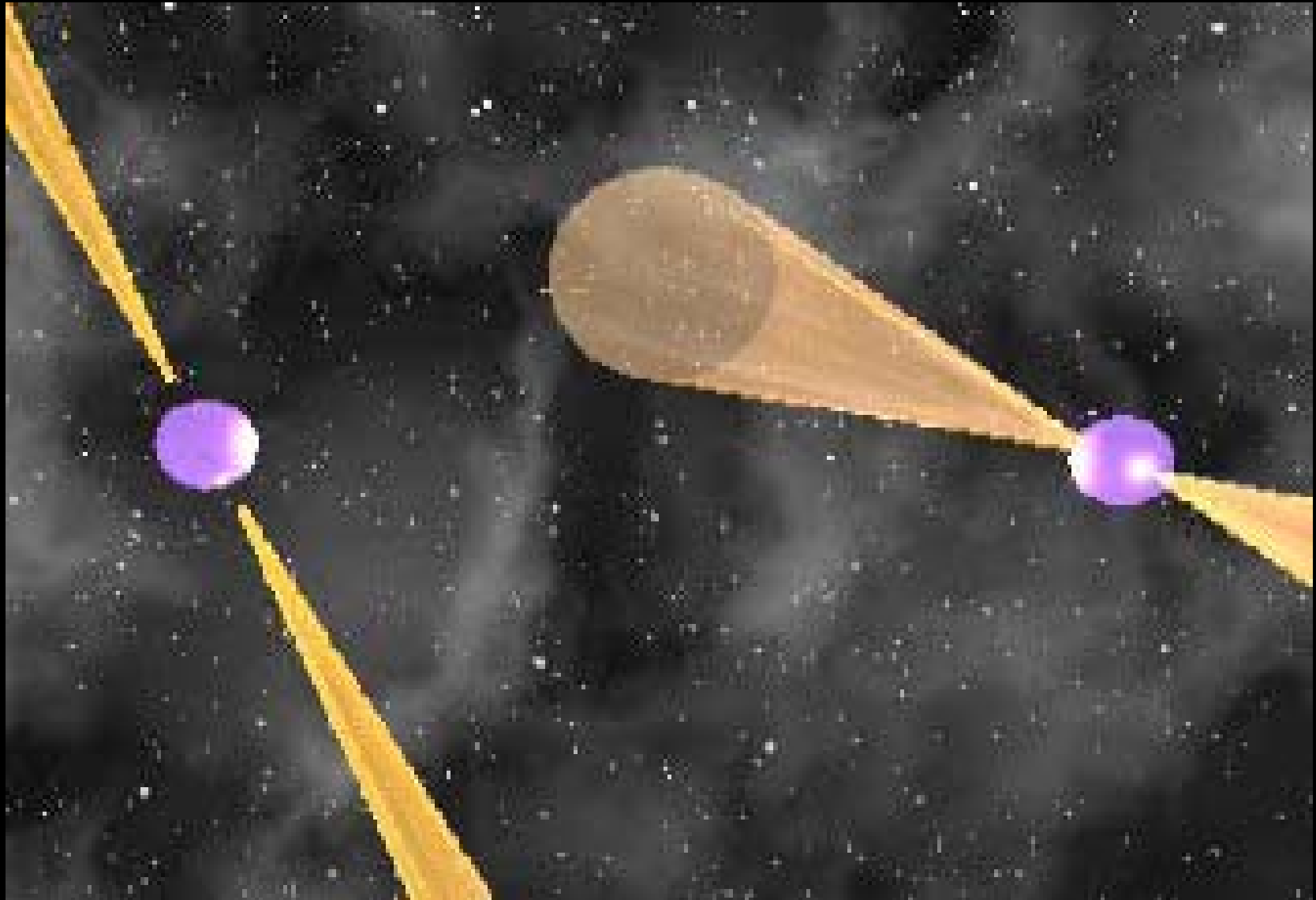
PSR J0737 - 3039



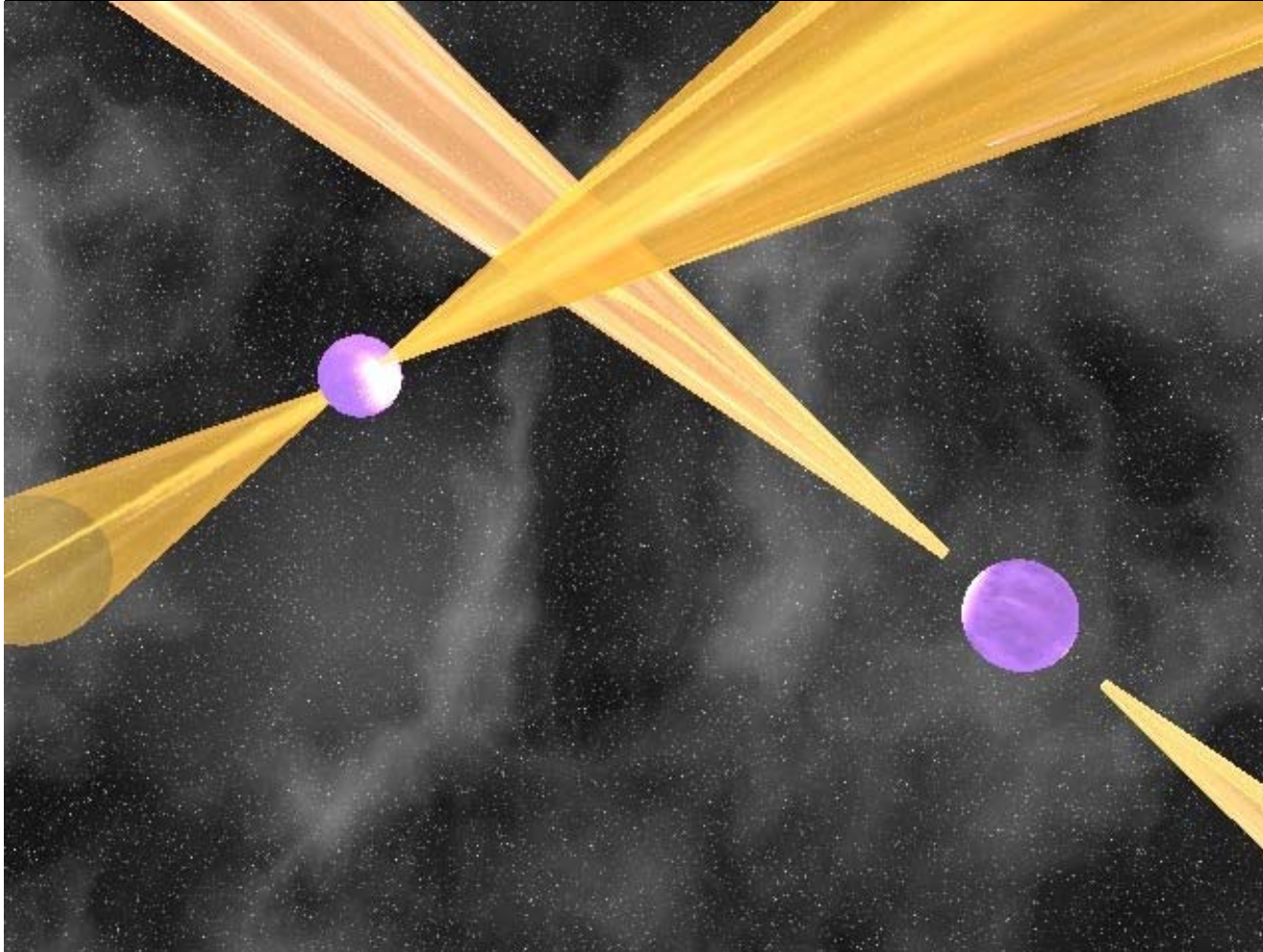
Encara que ambdós púlsars tenen masses més grans que la del Sol, els seus radis són de l'ordre de només 10 Km (!!), i la seva distància mitjana és menor que el diàmetre del Sol (~ 1,4 milions de Km).

Credit: Michael Kramer (Jodrell Bank Observatory, University of Manchester)

PSR J0737 - 3039



PSR J0737 - 3039



Credit: Michael Kramer (Jodrell Bank Observatory, University of Manchester)

*Les mesures en aquest sistema han permés, en molt poc temps, **comprovar les prediccions de la Relativitat General amb precisió encara major.***

FUTUR

La “gravisordeza” humana

Tot el que mesurem del contingut de l'Univers ho "veiem" amb telescopis, que detecten la llum i altres ones electromagnètiques (ones de radio, microones, raigs X, gamma, etc.). No obstant, sembla que la major part de l'Univers (diguem-ne més del 95%) està constituït per matèria fosca, o sigui, material "invisible" per als telescopis, i altres components foscos.

Detecció directa de les ones gravitatòries?

Actualment, hi ha diversos detectors directes d'ones gravitatòries al món, en particular:

Japó:

CLIO (**Cryogenic Laser Interferometer Observatory**),
LCGT (**Large Scale Cryogenic Gravitational Wave Telescope**)
TAMA 300

Alemanya:

GEO 600

EEUU:

LIGO

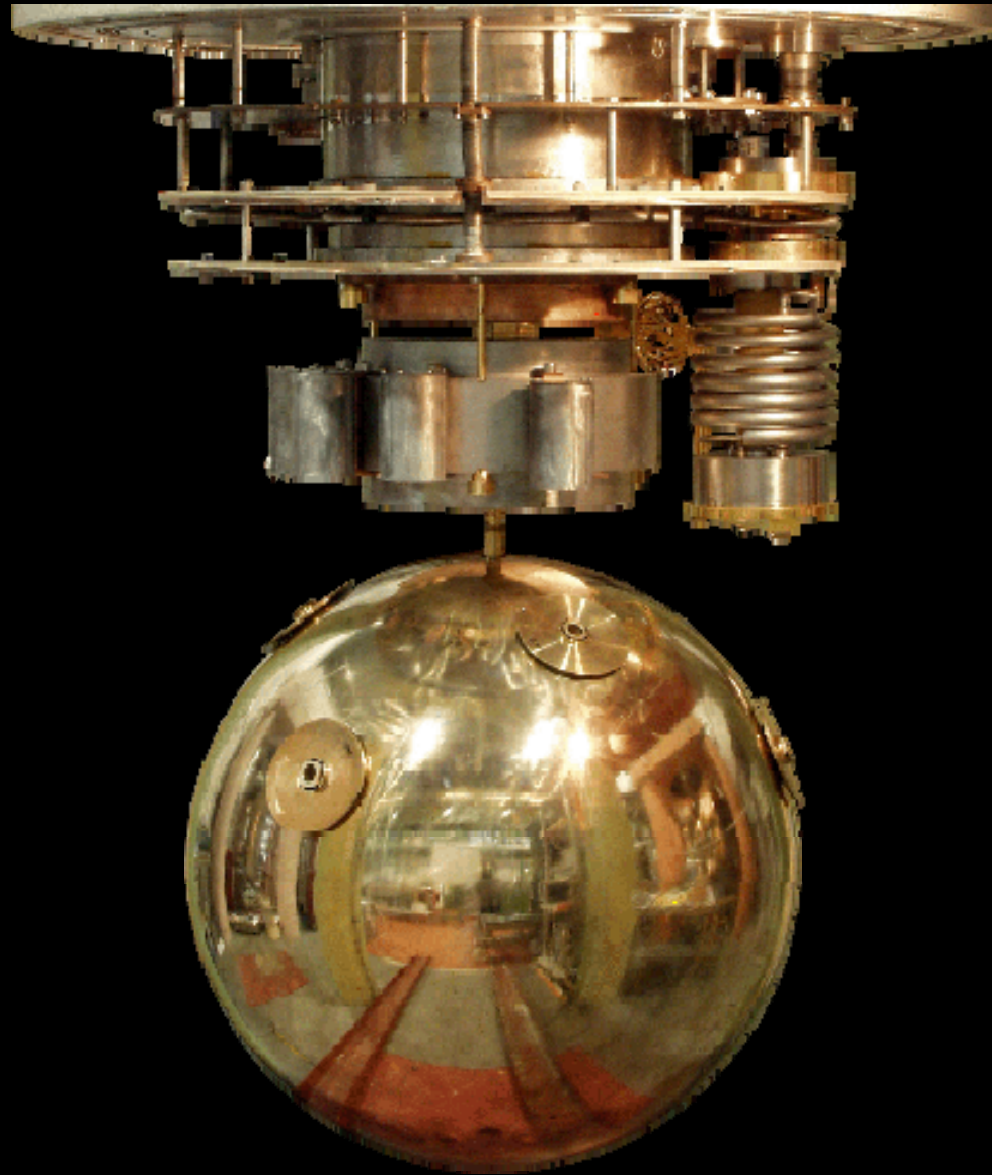
Països Baixos:

MiniGrail

Itàlia:

VIRGO

MiniGRAIL



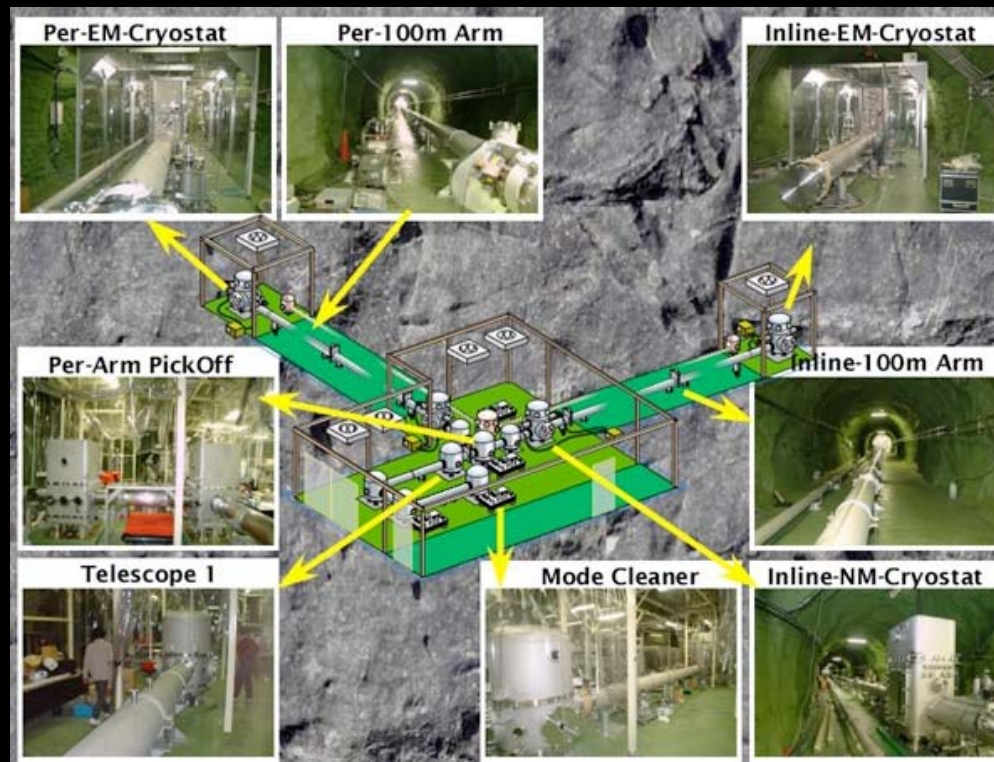
Interferòmetres



GEO 600



Tama 300



CLIO
(prototip)

LIGO

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory



Hanford



Livingston

Distância: 3002 Km

Braços: ~ 4Km

Què ens aportarà el domini de la radiació gravitatòria?

La informació ens arribarà sense corrompre, ja que les ones gravitatòries viatjen sense gairebé interactuar amb la matèria. Per exemple, ens permetrà saber com és l'interior dels objectes estelars o conèixer l'Univers molt llunyà (ergo, molt antic).

Ens confirmarà la teoria més adient per a descriure la gravetat i, en particular, serà un test definitiu per a la Relativitat General.

Ha d'existir una radiació de fons "gravitatòria" romanent de la gran explosió inicial, anàloga a la ja coneguda de microones. Aquesta radiació ens informará sobre la història de l'Univers fins a temps increïblement diminuts, molt pròxims al temps de la gran esclatada (uns 10^{-24} segons).

Comprendrem millor l'origen de l'Univers!

Serà una revolució imprevisible. Totes les coses que existeixen, siguin o no visibles electromagnèticament, "graviten". Així doncs, s'apareixerà l'Univers davant nostre, desconegut, nou i ple.

Clafit de llumeners gravitatoris,
d'objectes apassionants, avui
imprevisibles, segur que
absolutament sorprenents.

***Per ventura canviarà tota la
nostra cosmovisió.***

¿Alguien da más?

Eskerrik asko!

Constant de Boltzmann
(Física Estadística)

velocitat de la llum al buit
(Relativitat)

Àrea de l'horitzó d'events
(Geometria)

Entropia d'un forat negre
(Informació i desordre)

$$S_{fn} = \frac{k_B c^3}{4G\hbar} A$$

Constant de la gravitació universal
(Gravetat)

Constant de Planck
(Física Quàntica)

The diagram illustrates the Bekenstein-Hawking entropy formula, $S_{fn} = \frac{k_B c^3}{4G\hbar} A$, centered on a white rectangular background. Six yellow arrows point from descriptive text labels to specific parts of the formula: from 'Constant de Boltzmann (Física Estadística)' to k_B ; from 'velocitat de la llum al buit (Relativitat)' to c^3 ; from 'Àrea de l'horitzó d'events (Geometria)' to A ; from 'Entropia d'un forat negre (Informació i desordre)' to S_{fn} ; from 'Constant de la gravitació universal (Gravetat)' to G ; and from 'Constant de Planck (Física Quàntica)' to $\hbar$.